

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavební mechaniky

Návrh a posouzení vybrané ocelové konstrukce na účinky požáru
Design and assessment of selected steel structure on the effect of fire

Student:

Bc. Sylva Vrublová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lenka Lausová, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavební mechaniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Sylva Vrublová**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Návrh a posouzení vybrané ocelové konstrukce na účinky požáru**
Design and assessment of selected steel structure on the effect of fire
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce bude zaměřena na chování ocelových konstrukcí za požáru. V rámci diplomové práce student vypracuje návrh a posouzení vybrané ocelové konstrukce na účinek požáru podle ČSN EN 1993-1-2. Student provede porovnání výsledků pomocí jím vytvořeného výpočetního postupu v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a také softwarem na výpočty stavebních konstrukcí např. Scia Engineer.

Seznam doporučené odborné literatury:

H. Buchanan, Structural design for fire safety. John Wiley a Sons Ltd, England, 2003. ISBN 0-471-89060-X.

Handbook 5. Design of buildings for the fire situation. Book by Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/B/F/PP-134007.

WALD, F. & kolektiv. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. Praha: ČVUT, 2005. 336 pp. ISBN 80-01-03157-8.

ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-2: Obecná zatížení. Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. ČNI, 2004.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.

ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. ČNI, 2006.

STUDNIČKA, J. a kol.: Ocelové konstrukce 20, Praha: ČVUT, 2002.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Lausová, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016



doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis studenta

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Lence Lausové, Ph. D. za odborný dohled, ochotu, trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při realizaci diplomové práce.

Anotace

Hlavní náplní diplomové práce je návrh a posudek vybrané části ocelové haly na účinky požáru. V práci byla řešena jednolodní ocelová hala, ve které pojíždí mostový jeřáb o nosnosti 5 tun. Nejprve byl proveden návrh a posudek základních prvků haly pro běžnou teplotu. Byly vyhodnoceny účinky zatížení jak stálého tak i proměnného a navrženy tyto části haly: střešní konstrukce, sloupy a hlavní nosník jeřábové dráhy. Silové působení na příčnou vazbu bylo vyhodnoceno pomocí software Scia Engineer. Požadavkem diplomové práce bylo provést posudek vybrané konstrukce na účinek požáru podle ČSN EN 1993-1-2. Pro tento posudek byl vybrán navržený příhradový vazník, jehož pruty byly následně posouzeny na požární odolnost R15 pomocí vytvořeného postupu v tabulkového procesoru Microsoft Excel. Posudek na požární odolnost R15 celého vazníku byl vyřešen pro srovnání také v software Scia Engineer. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace navržené haly, která byla provedena v software Tekla Structures.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, jednolodní hala, příhradový vazník, jeřábová dráha, požární odolnost, Scia Engineer, Tekla Structure

Annotation

The main content of the thesis is the design and assessment of the selected parts of steel structure exposed to fire. The single steel hall with the crane runway of capacity of 5 tons was solved in the work. First there was made the design and assessment of basic parts of the hall for normal temperature. There were evaluated the load effects of permanent and variable load and designed the roof structures, columns and main girder for the crane runway. Force action for truss girder, column and restrained steel base were evaluated using Scia Engineer. The requirement of the thesis was to make the fire assessment of the selected part according to EN 1993-1-2. For this report there was chosen previously designed truss girder, whose rods were then assessed for the fire resistance R15 through procedures in a Microsoft Excel spreadsheet. The fire resistance assessment R15 of the entire truss girder was resolved, for comparison, in Scia Engineer. The part of the thesis is a graphic documentation of designed hall, which was made in software Tekla Structures.

Keywords

Steel structure, single steel hall, truss girder, crane runway, fire resistance, Scia Engineer, Tekla Structure

Obsah

Seznam obrázků	5
Seznam tabulek	8
Seznam použitého značení	10
1 Úvod.....	16
1.1 Halové objekty.....	17
1.2 Řešená konstrukce	24
2 Zatížení větrem – EN 1991-1-4	25
2.1 Schéma zatížení pro sedlové střechy	28
3 Zatížení sněhem – EN 1991-1-3	29
3.1 Schéma zatížení pro sedlové střechy	29
4 Střešní plášť	30
5 Obvodový plášť.....	31
6 Hlavní nosník jeřábové dráhy	32
6.1 Výpočet sil působících na jeřábovou dráhu – EN 1991-3	32
6.1.1 Svislé zatížení.....	34
6.1.2 Vodorovné síly	36
6.1.2.1 Vodorovné síly od zrychlení a zpomalení mostového jeřábu H_L, H_T	36
6.1.2.2 Vodorovné síly H_S a síla na vedení S , způsobené přičením	37
6.1.2.3 Vodorovné síly H_T od zrychlení nebo zpomalení kočky	41
6.1.3 Rekapitulace zatížení působících na jeřábovou dráhu	42
6.1.4 Výpočet vnitřních sil	44
6.1.4.1 Svislé síly.....	44
6.1.4.2 Vodorovné podélné síly	45
6.1.4.3 Vodorovné příčné síly	45
6.2 Posudek nosníku jeřábové dráhy	47
6.2.1 Mezní stav únosnosti.....	47
6.2.1.1 Boulení od ohybu pásnic – EN 1993-1-5	48
6.2.1.2 Namáhání smykem – EN 1993-1-1	48
6.2.1.3 Namáhání ohybem a osovou silou – EN 1993-1-1	49
6.2.1.4 Únosnost na klopení – EN 1993-1-1	53
6.2.1.5 Únosnost na příčné síly – EN 1993-1-5.....	58
6.2.1.6 Rovinné namáhání ve stěně nosníku	61

6.2.1.7	Příčné výztuhy – EN 1993-1-5	64
6.2.2	Mezní stav použitelnosti EN – 1993-6	65
7	Konzola	67
7.1	Mezní stav únosnosti	68
7.1.1	Namáhání smykem - EN 1993-1-1	68
7.1.2	Namáhání ohybem - EN 1993-1-1	69
7.2	Mezní stav použitelnosti	69
8	Zatěžovací stavy příčné vazby	70
8.1	Statické schéma příčné vazby	70
8.2	Zatížení stálé	70
8.3	Zatížení sněhem po celé délce	71
8.4	Zatížení sněhem vlevo	72
8.5	Zatížení sněhem vpravo	73
8.6	Jeřáb vlevo	73
8.7	Jeřáb vpravo	74
8.8	Příčení jeřábu 1	74
8.9	Příčení jeřábu 2	74
8.10	Zrychlení nebo zpomalení kočky 1	75
8.11	Zrychlení nebo zpomalení kočky 2	75
8.12	Zrychlení nebo zpomalení kočky 3	75
8.13	Zrychlení nebo zpomalení kočky 4	76
8.14	Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 1	76
8.15	Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 2	76
8.16	Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 3	77
8.17	Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 4	77
8.18	Příčný vítr	78
8.19	Podélný vítr	79
9	Vazník	80
9.1	Mezní stav použitelnosti	80
9.2	Mezní stav únosnosti	80
9.3	Tah - EN 1993-1-1	82
9.4	Tlak - EN 1993-1-1	82
10	Sloup	83

10.1	Mezní stav použitelnosti	83
10.2	Mezní stav únosnosti	84
10.2.1	Namáhání smykem - EN 1993-1-1	85
10.2.2	Namáhání ohybem - EN 1993-1-1	86
10.2.3	Únosnost ve vzpěrném tlaku - EN 1993-1-1	86
10.2.4	Únosnost na kombinaci ohybu a osového namáhání - EN 1993-1-1	88
10.2.5	Ztráta stability vlivem klopení - EN 1993-1-1	88
11	Patka	93
11.1	Výpočet sil do šroubu	95
11.2	Posouzení průřezu patky	96
11.3	Připojení podélných výztuh	99
11.4	Kotevní šrouby	100
11.5	Kotevní příčník	102
12	Požární odolnost	104
12.1	Vlastnosti oceli při vysokých teplotách	104
12.1.1	Mechanické vlastnosti oceli	105
12.1.2	Teplené vlastnosti	107
12.2	Teplotní analýza	108
12.2.1	Teplotní křivky	108
12.3	Přestup tepla do konstrukce podle Eurokódů	112
12.3.1	Nechráněný průřez	112
12.3.2	Chráněný průřez	113
12.3.3	Zatížení požárem	114
12.3.4	Klasifikace průřezu při požáru	114
12.3.5	Tah	115
12.3.6	Tlak	116
12.4	Posudek ocelového vazníku	117
12.4.1	Svislice vazníku V1	119
12.4.1.1	Tlak	120
12.4.1.1	Tah	124
12.4.2	Svislice vazníku V2	125
12.4.2.1	Tlak	125
12.4.2.2	Tah	126

12.4.3	Diagonála vazníku D1	127
12.4.3.1	Tlak	127
12.4.3.2	Tah	128
12.4.4	Diagonála vazníku D2	129
12.4.4.1	Tlak	129
12.4.4.2	Tah	130
12.4.5	Diagonála vazníku D3	131
12.4.5.1	Tlak	131
12.4.5.2	Tah	132
12.4.6	Spodní pás vazníku SP	133
12.4.6.1	Tlak	133
12.4.6.2	Tah	134
12.4.7	Horní pás vazníku HP	135
12.4.7.1	Tlak	136
12.4.7.2	Tah	136
12.5	Požární odolnost v software Scia Engineer	137
13	Závěr.....	140

Seznam obrázků

Obr. 1.1	Dispoziční uspořádání halových objektů	17
Obr. 1.2	Haly s kloubově uloženou příčlí	18
Obr. 1.3	Příčná vazba haly	18
Obr. 1.4	Podélná směr hal	18
Obr. 1.5	Tvary příhradových vazníků	19
Obr. 1.6	Detaily uložení vazníku na sloup	20
Obr. 1.7	Detaily připojení prutů příhradových vazníků	20
Obr. 1.8	Detaily kotvení sloupů do základů	21
Obr. 1.9	Uspořádání brzdných ztužidel	22
Obr. 1.10	Základní tvary kolejnic	23
Obr. 1.11	Vizualizace haly pomocí Tekla Structures	233
Obr. 2.1	Stanovení součinitele vnějšího tlaku c_{pe}	26
Obr. 2.2	Součinitelé vnějšího tlaku $c_{pe,10}$	27
Obr. 2.3	Plošné zatížení pro $C_{pi}=+0,2$	27
Obr. 2.4	Plošné zatížení pro $C_{pi}=-0,3$	28
Obr. 2.5	Schéma zatížení - příčný vítr	28
Obr. 2.6	Schéma zatížení - podélný vítr	28
Obr. 3.1	Schéma zatížení sněhem	29
Obr. 4.1	Střešní panel KINGSPAN KS1000 XM 100/0,9	30
Obr. 5.1	Stěnový panel KINGSPAN KS1150 FR 80	31
Obr. 6.1	Příčný řez	32
Obr. 6.2	hodnoty β_2 a $\varphi_{2,min}$ dle EN – 1991-3	33
Obr. 6.3	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Maximální svislé zatížení	35
Obr. 6.4	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Minimální svislé zatížení	35
Obr. 6.5	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Vodorovné síly H_L , H_T	36
Obr. 6.6	Úhel přičení dle EN – 1991-3	38
Obr. 6.7	Kolejnice	38
Obr. 6.8	Vzdálenost h dle EN – 1991-3	39
Obr. 6.9	Hodnoty λ dle EN – 1991-3	39
Obr. 6.10	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Přičení	41
Obr. 6.11	Použití dynamických součinitelů	42
Obr. 6.12	Postavení sil A_{max}	44
Obr. 6.13	Postavení sil M_{max}	44
Obr. 6.14	Podélné síly	45
Obr. 6.15	Příčné síly	45
Obr. 6.16	Schéma zatížení jeřábové dráhy	46
Obr. 6.17	Součinitelé vzpěrné délky	50
Obr. 6.18	Součinitel imperfekce α	51
Obr. 6.19	Schéma zatížení	53
Obr. 6.20	Opotřebení kolejnice	58
Obr. 6.21	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-6 - Roznášecí délka	58
Obr. 6.22	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-1-5 – Zatížení nosníku	59
Obr. 6.23	Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-1-5 - Koncové podpory	64

Obr. 6.24 Koncová výztuha	64
Obr. 7.1 Vizualizace konzoly pro jeřábovou dráhu	67
Obr. 8.1 Příčná vazba	70
Obr. 8.2 Stálé zatížení	71
Obr. 8.3 Zatížení sněhem po celé délce	72
Obr. 8.4 Zatížení sněhem vlevo	72
Obr. 8.5 Zatížení sněhem vpravo	73
Obr. 8.6 Zatížení jeřábem vlevo	73
Obr. 8.7 Zatížení jeřábem vpravo	74
Obr. 8.8 Zatížení příčným jeřábu 1	74
Obr. 8.9 Zatížení příčným jeřábu 2	74
Obr. 8.10 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 1	75
Obr. 8.11 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 2	75
Obr. 8.12 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 3	75
Obr. 8.13 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 4	76
Obr. 8.14 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 1	76
Obr. 8.15 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 2	76
Obr. 8.16 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 3	77
Obr. 8.17 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 4	77
Obr. 8.18 Rozmístění oblastí pro příčný vítr	78
Obr. 8.19 Zatížení příčným větrem	78
Obr. 8.20 Rozmístění oblastí pro podélný vítr	79
Obr. 8.21 Zatížení podélným větrem	79
Obr. 9.1 Geometrie vazníku	80
Obr. 9.2 Maximální posun u_z	80
Obr. 9.3 Průběhy normálových sil - spodní pás	81
Obr. 9.4 Průběhy normálových sil - horní pás	81
Obr. 9.5 Průběhy normálových sil - diagonály	81
Obr. 9.6 Průběhy normálových sil - svislice	81
Obr. 10.1 Maximální posun u_x	83
Obr. 10.2 Průběhy normálových sil na sloupech	84
Obr. 10.3 Průběhy posouvajících sil na sloupech	84
Obr. 10.4 Průběhy ohybových momentů na sloupech	84
Obr. 10.5 Rekapitulace sil na sloupu	84
Obr. 11.1 Vizualizace patky	93
Obr. 11.2 Síly v patce	93
Obr. 11.3 Půdorys patky	94
Obr. 11.4 Posuzovaný průřez patky	97
Obr. 11.5 Průřezové charakteristiky patky	97
Obr. 11.6 Určení vzdálenosti z_1	98
Obr. 11.7 Umístění řezů 1 a 2	99
Obr. 11.8 Umístění kotevního příčníku	102
Obr. 12.1 Graf závislosti redukčních součinitelů na teplotě oceli	104
Obr. 12.2 Hodnoty redukčních součinitelů	104

<i>Obr. 12.3 Účinná mez kluzu</i>	<i>105</i>
<i>Obr. 12.4 Modul pružnosti</i>	<i>105</i>
<i>Obr. 12.5 Tepelná roztažnost</i>	<i>106</i>
<i>Obr. 12.6 Měrné teplo</i>	<i>107</i>
<i>Obr. 12.7 Tepelná vodivost</i>	<i>108</i>
<i>Obr. 12.8 Průběhy teplotních křivek</i>	<i>109</i>
<i>Obr. 12.9 Geometrie vazníku</i>	<i>117</i>
<i>Obr. 12.10 Průběhy normálových sil - spodní pás.....</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 12.11 Průběhy normálových sil - horní pás.....</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 12.12 Průběhy normálových sil - diagonály.....</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 12.13 Průběhy normálových sil – svislice</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 12.14 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak V2.....</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 12.15 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah V2.....</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 12.16 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D1</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 12.17 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah V2.....</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 12.18 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D2</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 12.19 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah D2</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 12.20 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D3</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 12.21 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah D3</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 12.22 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak SP.....</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 12.23 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah SP.....</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 12.24 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak HP.....</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 12.25 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah HP.....</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 12.26 Hodnoty pro požární odolnost 15 minut - Scia Engineer</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 12.27 Jednotkový posudek Scia Engineer.....</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 12.28 Graf meze kluzu, teploty oceli a plynu.....</i>	<i>139</i>

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Vstupní hodnoty.....	25
Tab. 2.2 Kategorie větrných oblastí.....	25
Tab. 3.1 Vstupní hodnoty.....	29
Tab. 3.2 Kombinace zatížení	29
Tab. 4.1 Charakteristiky střešního pláště.....	30
Tab. 5.1 Charakteristiky stěnového panelu	31
Tab. 6.1 Vstupní hodnoty.....	32
Tab. 6.2 Druhy dynamických součinitelů dle EN – 1991-3.....	33
Tab. 6.3 Druhy dynamických součinitelů pro svislá zatížení dle EN – 1991-3.....	33
Tab. 6.4 Součinitelé dynamických účinků	34
Tab. 6.5 Stálé zatížení jeřábové dráhy	46
Tab. 6.6 Rekapitulace sil působících na jeřábovou dráhu	46
Tab. 6.7 Průřezové charakteristiky profilu HEA300.....	47
Tab. 6.8 Zatížení nosníku pro klopení	53
Tab. 6.9 Hodnoty součinitelů C_1 , C_2 , C_3 dle EN – 1993-1-1	54
Tab. 6.10 Křivky klopení	55
Tab. 6.11 součinitel imperfekce při klopení	55
Tab. 6.12 Vnitřní síly.....	56
Tab. 6.13 Vnitřní síly.....	57
Tab. 6.14 Vnitřní síly.....	61
Tab. 7.1 Průřezové charakteristiky profilu IPE360	67
Tab. 9.1 Vzpěrné délky prutů	80
Tab. 9.2 Hodnoty normálových sil a navržené profily, průřezové charakteristiky profilů	81
Tab. 9.3 Posudek vazníku - tah	82
Tab. 9.4 Posudek vazníku - tlak.....	82
Tab. 9.5 Posudek vazníku - tlak.....	82
Tab. 10.1 Průřezové charakteristiky profilu HE400A.....	83
Tab. 10.2 Interakční součinitelé $k_{i,j}$	89
Tab. 10.3 Interakční součinitelé $k_{i,j}$	90
Tab. 10.4 Hodnoty součinitelů C_1 a C_3	91
Tab. 11.1 Rekapitulace sil působících na patku.....	93
Tab. 11.2 Vstupní hodnoty.....	94
Tab. 11.3 Vstupní hodnoty.....	94
Tab. 11.4 Hodnoty pro zatěžování stavy	96
Tab. 11.5 Průřezové charakteristiky UPN180	96
Tab. 11.6 Kotevní šrouby M36x3	101
Tab. 11.7 Průřezové charakteristiky UPN100	102
Tab. 12.1 Hodnoty pro výpočet požární odolnosti konstrukce.....	118
Tab. 12.2 Průřezové charakteristiky profilu CHS42,4x4	119
Tab. 12.3 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1	121
Tab. 12.4 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4	121
Tab. 12.5 Výpočet únosnosti při požáru v tahu V1	122
Tab. 12.6 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1	122

Tab. 12.7 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro V1	124
Tab. 12.8 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4	125
Tab. 12.9 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1	125
Tab. 12.10 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro V1	126
Tab. 12.11 Průřezové charakteristiky profilu CHS 114,3x6,3	127
Tab. 12.12 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D1	127
Tab. 12.13 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D1	128
Tab. 12.14 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4	129
Tab. 12.15 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D2	129
Tab. 12.16 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D2	130
Tab. 12.17 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4	131
Tab. 12.18 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D3	131
Tab. 12.19 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D3	132
Tab. 12.20 Průřezové charakteristiky profilu CHS114,3x6,3	133
Tab. 12.21 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro SP	133
Tab. 12.22 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro SP	134
Tab. 12.23 Průřezové charakteristiky profilu HE180A	135
Tab. 12.24 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro HP	136
Tab. 12.25 Tab. 12.24 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro SP	137
Tab. 12.26 Hodnoty pro výpočet požární odolnosti konstrukce	137
Tab. 12.27 Výpočet únosnosti při požáru v tahu V1	138
Tab. 12.28 Srovnání jednotkových posudků	139

Seznam použitého značení

Latinská písmena

A	Plocha	$[m^2]$
A_f	Plocha pásnice	$[mm^2]$
A_{fc}	Účinná plocha tlačené pásnice	$[mm^2]$
A_t	Celková plocha konstrukcí ohraničujících požární úsek	$[m^2]$
A_V	Celková plocha svislých otvorů a požárním úseku	$[m^2]$
A_w	Plocha stojiny	$[mm^2]$
A_{we}	Plocha svarů	$[mm^2]$
$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b$	Součinitel průřezu pro povrch obdélníku opsaného průřezu	$[m^{-1}]$
$\frac{A_m}{V}$	Součinitel průřezu	$[m^{-1}]$
C_e	Součinitel expozice	$[-]$
C_{pe}	Součinitel vnějšího tlaku	$[-]$
C_m	Součinitel momentu	$[-]$
C_{pi}	Součinitel vnitřního tlaku	$[-]$
C_t	Tepelný součinitel	$[-]$
E	Modul pružnosti v tahu a tlaku	$[MPa]$
$E_{fi,d}$	Návrhový účinek zatížení při požáru	$[kN]$
F_{cr}	Kritická síla	$[kN]$
G_k	Charakteristická hodnota součtu stálých zatížení	$[kN]$
H_\emptyset	Ekvivalentní vodorovná síla	$[kN]$
H_L	Podélné síly způsobené přičením	$[kN]$
H_S	Vodorovné síly způsobené přičením jeřábu	$[kN]$
$H_{T,1}; H_{T,2}$	Příčné síly způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu	$[kN]$
$H_{T,3}$	Příčné síly způsobené zrychlením a zpomalením kočky	$[kN]$
I	Moment setrvačnosti	$[mm^4]$
$I_v(z)$	Intenzita turbulence	$[-]$
I_{we}	Moment setrvačnosti svaru	$[mm^4]$
K	Hnací síla	$[kN]$

L	Délka prutu	[mm]
L_{eff}	Účinná délka	[mm]
L_{cr}	Vzpěrná délka	[m]
M	Moment vyvolaný hnací silou	[kNm]
M_{Ed}	Návrhová hodnota ohybového momentu	[kNm]
$M_{b,Rd}$	Návrhová únosnost v ohybu při klopení	[kNm]
M_{Rd}	Návrhová únosnost v ohybu	[kNm]
M_{Rk}	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu	[kNm]
N_{Ed}	Návrhová hodnota tlakové síly	[kN]
$N_{b,fi,t,Rd}$	Návrhová únosnost v tlaku při požáru	[kN]
$N_{b,Rd}$	Návrhová únosnost v tlaku	[kN]
$N_{fi,Ed}$	Návrhová hodnota osově síly při požáru	[kN]
$N_{fi,\theta,Rd}$	Návrhová únosnost v tahu při požáru	[kN]
O	Koeficient otvorů	[m ^{1/2}]
O_{ref}	Referenční koeficient otvorů	[-]
Q_c	Vlastní tíha jeřábu	[kN]
Q_h	Zatížení kladkostroje	[kN]
$Q_{k,1}$	Charakteristická hodnota rozhodujícího proměnného zatížení	[kN]
Q_r	Zatížení kola	[kN]
R_a	Raekce v bode a	[kN]
S	Síla na vodící prostředky způsobená přičením	[kN]
V_b	Nosnost jeřábu	[t]
V_{Ed}	Návrhová hodnota smykové síly	[kN]
$V_{pl,Rd}$	Návrhová únosnost ve smyku	[kN]
a	Rozvor kol jeřábu, vzdálenost vodících kladek, délka patního plechu	
a_w	Výška svaru	[mm]
a_1	Započitatelná šířka betonové patky	[mm]
b	Šířka hlavy kolejnice, šířka nosníku, šířka patního plechu	[mm]
b_{eff}	Efektivní šířka	[mm]
b_{ref}	Referenční koeficient povrchů	[-]
b_1	Započitatelná délka betonové patky	[mm]

c	Přesah desky	[mm]
c_a	Měrné teplo oceli	[J/°C/kg]
c_{dir}	Součinitel směru	[-]
$c_0(z)$	Součinitel ortografie	[-]
$c_r(z)$	Součinitel drsnosti terénu	[-]
c_{season}	Součinitel ročního období	[-]
e	Excentricita, výstřednost zatížení od kola	[m]
f	Součinitel interakce	[-]
f_{ck}	Charakteristická válcová pevnost v betonu	[MPa]
f_g	Průhyb od vlastní tíhy	[mm]
f_k	Charakteristická hodnota únosnosti	[kN/m ²]
f_{lim}	Limitní hodnota průhybu	[mm]
f_{od}	Návrhová pevnost betonu v otláčení	[MPa]
f_{td}	Návrhová pevnost betonu v tlaku a soudržnosti	[MPa]
f_y	Mez kluzu oceli	[MPa]
g_d	Návrhová hodnota zatížení	[kN/m]
h	Výška, vzdálenost mezi středem otáčení a vodícími prostředky	[mm]
h_{min}	Minimální hloubka zabetonování	[mm]
$\dot{h}_{net,c}$	Čistý konvenční tepelný tok	[W/m ²]
$\dot{h}_{net,d}$	Čistý tepelný tok	[W/m ²]
$\dot{h}_{net,r}$	Čistý sálavý tepelný tok	[W/m ²]
i	Poloměr setrvačnosti	[-]
$k_{E,\theta}$	Redukční součinitel pro sklon lineární pružné části	[-]
$k_{i,j}$	Součinitel interakce	[-]
k_I	Součinitel turbulence	[-]
k_j	Vliv vyšší únosnosti v tlaku	[-]
$k_{p,\theta}$	Redukční součinitel pro mez úměrnosti	[-]
k_r	Součinitel terénu	[-]
k_{sh}	Opravný součinitel zastínění	[-]
k_{wt}	Parametr kroucení	[-]
k_{yy}	Součinitel interakce	[-]

$k_{y,\theta}$	Redukční součinitel pro účinnou mez kluzu	[-]
k_{zy}	Součinitel interakce	[-]
k_z	Součinitel interakce	[-]
l	Délka svaru	[mm]
l_{eff}	Účinná roznášecí délka	[mm]
l_m	Rozpětí jeřábu	[m]
l_y	Účinná zatížitelná délka	[mm]
m_j	Hmotnost jeřábu bez kočky	[t]
m_k	Hmotnost kočky	[t]
m_w	Počet pohonů na jedno kolo	[ks]
n	Počet dvojic kol	[ks]
n_r	Počet nosníků jeřábové dráhy	[ks]
$q_p(z)$	Maximální dynamický tlak	[kN/m ²]
r_1	Vzdálenost kotevních šroubů od osy sloupu	[mm]
s_k	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi v místě staveniště	[kN/m ²]
s_2	Dojez háku kočky	[m]
t	Čas	[min]
t_f	Tloušťka pásnice	[mm]
t_p	Tloušťka patního plechu	[mm]
t_w	Tloušťka stojiny	[mm]
v_b	Základní rychlost větru	[m/s]
$v_{b,0}$	Výchozí základní rychlost větru	[m/s]
v_h	Rychlost zdvihu břemene	[m/s]
w_k	Tlak větru	[kN/m ²]
z	Výška nad zemí	[m]
z_{max}	Maximální výška	[m]
z_{min}	Minimální výška	[m]

Řecká písmena

Γ	Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů	[-]
Δh	Účinná hloubka kotvení	[mm]
Δl	Roztažení	[mm]
$\Delta\theta_{a,t}$	Přírůstek teploty	[°C]
$\Delta\theta_{a,t}$	Přírůstek teploty	[°C]
ΔM_{Rk}	Přídavek ohybového momentu	[kNm]
α	Úhel příčnění, součinitel vzpěrnosti	[rad]
α_c	Součinitel přestupu tepla prouděním	[-]
α_{LT}	Součinitel imperfekce při klopení	[-]
β	Součinitel vzpěrné délky	[-]
β_j	Součinitel vlivu podlití	[-]
γ_G	Součinitel spolehlivosti stálého zatížení	[-]
γ_{GA}	Dílčí součinitel stálého zatížení pro mimořádnou situaci	[-]
$\gamma_{m,0}$	Součinitel spolehlivosti materiálu	[-]
$\gamma_{m,fi}$	Součinitel spolehlivosti materiálu za požáru	[-]
$\gamma_{Q,i}$	Dílčí součinitel proměnného zatížení	[-]
ε_f	Emisivita požáru	[-]
ε_m	Povrchová emisivita	[-]
η_{fi}	Redukční součinitel zatížení při požární situaci	[-]
θ_a	Teplota oceli	[°C]
$\theta_{a,cr}$	Kritická teplota	[°C]
θ_g	Teplota plynu	[°C]
θ_m	Teplota povrchu prvku	[°C]
θ_r	Teplota sálání prostředí požáru	[°C]
λ	Kritická štíhlost	[-]
λ_a	Tepelná vodivost	[W/m/K]
λ_S	Součinitel síly	[-]
λ_1	Srovnávací štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}$	Poměrná štíhlost	[-]

μ	Součinitel tření	[-]
μ_{cr}	Bezrozměrný kritický moment	[-]
μ_0	Stupěň využití	[-]
μ_1	Tvarový součinitel zatížení sněhem	[-]
ρ	Objemová hmotnost	[kg/m ³]
σ	Normálové napětí	[MPa]
τ	Smykové napětí	[MPa]
φ	Dynamický součinitel	[-]
ϕ	Polohový faktor	[-]
χ	Součinitel vzpěrnosti	[-]
χ_F	Součinitel lokálního boulení	[-]
$\psi_{1,1}$	Součinitel kombinace	[-]

1 Úvod

Předmětem diplomové práce je návrh a posudek vybrané ocelové konstrukce na účinky požáru. Pro tento úkol byla vybrána jednodílná ocelová hala s mostovým jeřábem. Pro posouzení konstrukce na účinek požáru bylo zapotřebí provést nejprve návrh a posudek základních prvků haly pro běžnou teplotu. V rámci diplomové práce byly vyhodnoceny účinky zatížení jak stálého tak i proměnného a byly navrženy tyto části haly: střešní konstrukce, sloupy a hlavní nosník jeřábové dráhy. Pomocí software Scia Engineer bylo vyhodnoceno silové působení pro příhradový vazník, sloup a vetknutou patku, jež byly následně posouzeny.

Požadavkem diplomové práce bylo provést posudek vybrané konstrukce na účinek požáru podle ČSN EN 1993-1-2. Pro tento posudek byl vybrán příhradový vazník, jehož pruty byly posouzeny na požární odolnost R15 pomocí vlastního vytvořeného postupu v tabulkového kalkulátoru Microsoft Excel. Požární odolnost byla u vybraného prutu vazníku posouzena na ukázkou podle teploty, času i únosnosti. Posudek na R15 celého vazníku byl vyřešen pro srovnání také v software Scia Engineer.

Součástí diplomové práce je také výkresová dokumentace navržené haly, která je provedena v software Tekla Structures. Některé prvky jako např. ztužení byly řešeny pouze ve výkresové části neboť provedení návrhu a posudku kompletně celé haly bylo nad rámec zadání této práce.

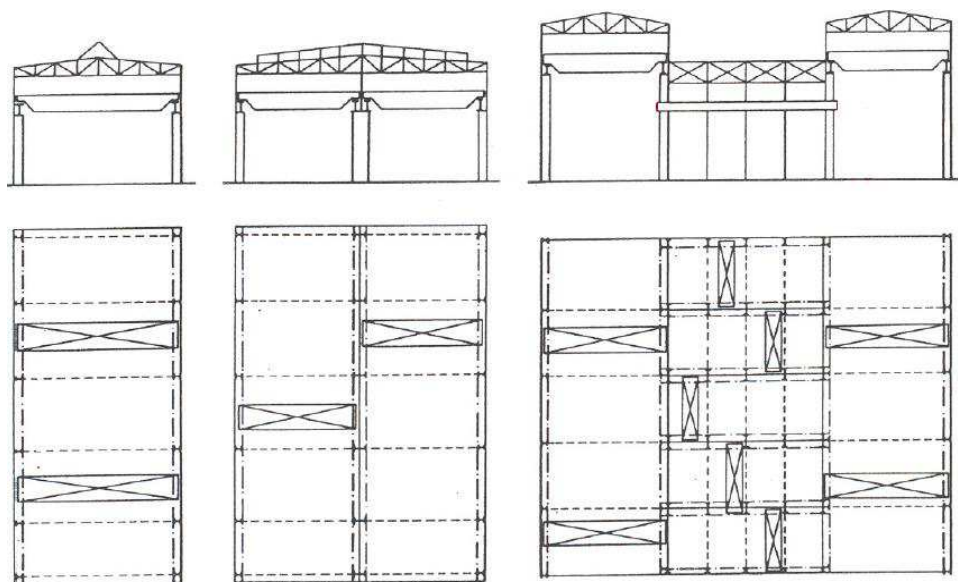
1.1 Halové objekty

Haly jsou stavby o jednom podlaží, jejichž hlavní funkcí hal je zajistit ochranu před povětrnostními vlivy. Materiál používaný pro výstavbu halových objektů je ocel, beton, dřevo. Dále se dají halové objekty rozdělit podle dispozice a rozpětí.

Podle dispozičního řešení

Dispoziční řešení je závislé na účelu využívání stavby, halové objekty mohou být použity jako sklady, sportovní, průmyslové a zemědělské haly

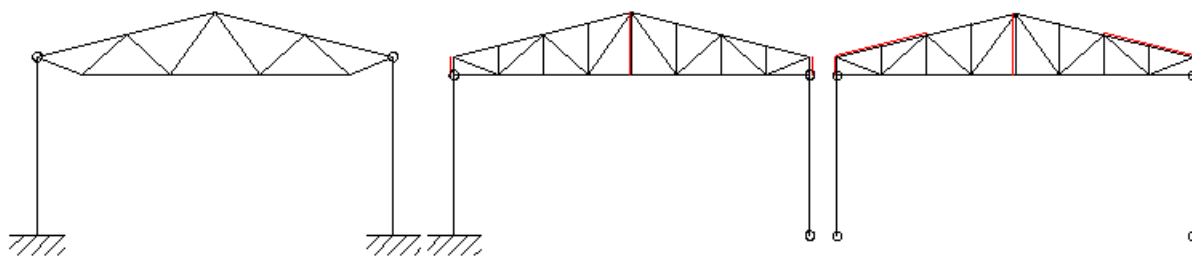
- Jednolodní
- Dvoulodní
- Vícelodní



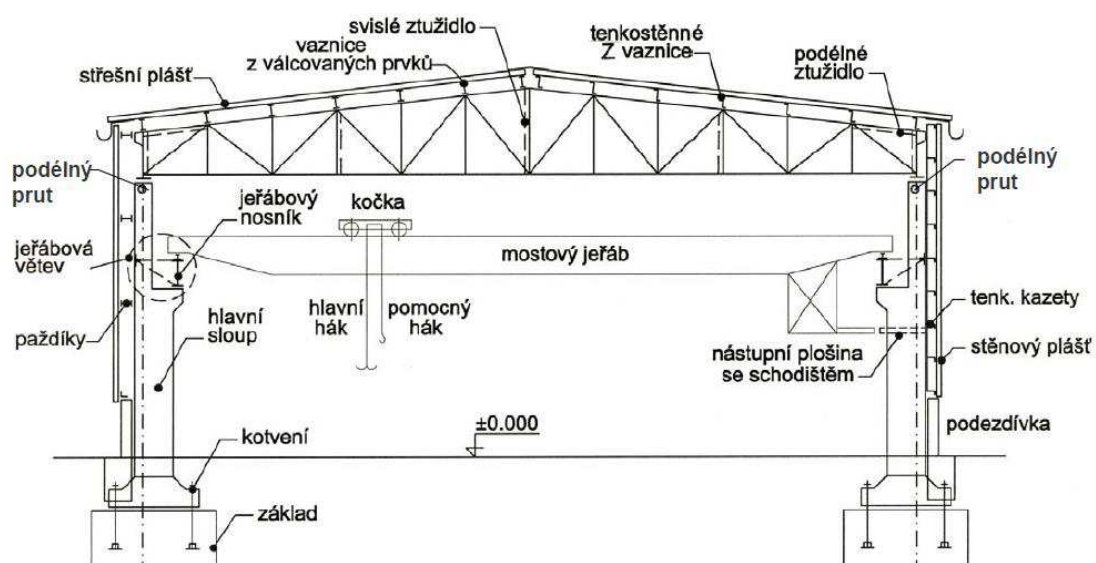
Obr. 1.1 Dispoziční uspořádání halových objektů

Příčná vazba hal

- Rámy
 - dvoukloubové
 - trojkloubové
 - vetknuté
 - kombinace
- Haly s kloubově uloženou příčí
 - staticky určité
 - staticky neurčité
 - tvarově neurčité



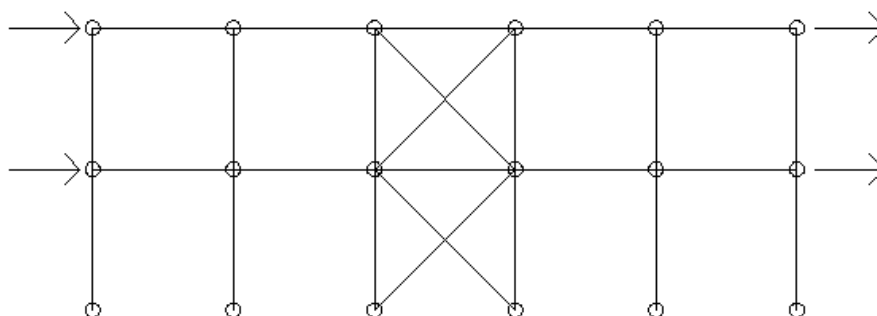
Obr. 1.2 Haly s kloubově uloženou příčí



Obr. 1.3 Příčná vazba haly

Podélný směr hal

V podélném směru se vetknutí sloupů do patek uvažují jako kloubová, konstrukce haly se musí vyztužit pomocí ztužidel.



Obr. 1.4 Podélná směr hal

Vazník

Konstrukce vazníku je hlavním nosným prvkem konstrukce střechy, zajišťuje spolupůsobení sloupů při přenášení zatížení působících na konstrukci. Zatížení se do vazníku přenáší pomocí vaznic nebo přímo střešním pláštěm.

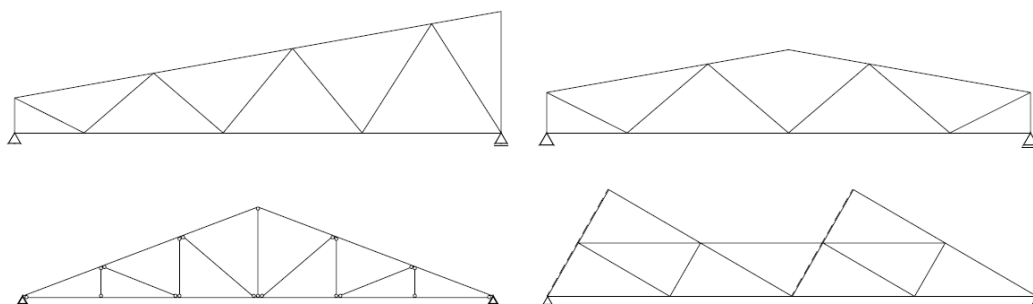
Podle konstrukčního řešení:

- Plnostěnné – pro rozpětí do 18 m, esteticky vhodnější, snadnější výroba i údržba. Mezi nevýhody patří velká spotřeba materiálu a hmotnost
- Příhradové – mezi hlavní výhody příhradových vazníků patří schopnost přizpůsobit se požadavkům na tvar a hospodárnost materiálu.

Uložení příhradových vazníků na sloupy příčné vazby je možno uvažovat v úrovni horního nebo spodního pásu, výhodnější je uložení při horním pásu, kdy se snižuje stavební výška konstrukce. Svislá zatížení se z vazníku do sloupů přenáší přes úložnou patku, vodorovné síly se přenáší pomocí přivařených zarážek pod úložný práh. Horní pás má tvar sklonu střešní krytiny, dolní pás je vodorovný. Diagonály a svislice jsou k pásům připojeny tuze svary nebo šrouby, přesto je tento přípoj uvažován jako kloubový, kdy v prutech vznikají pouze normálové tahové nebo tlakové síly. Ohybové momenty způsobené tuhým připojením jsou zanedbány.

Tvar vazníku je dán sklonem střešního pláště, dělí se na:

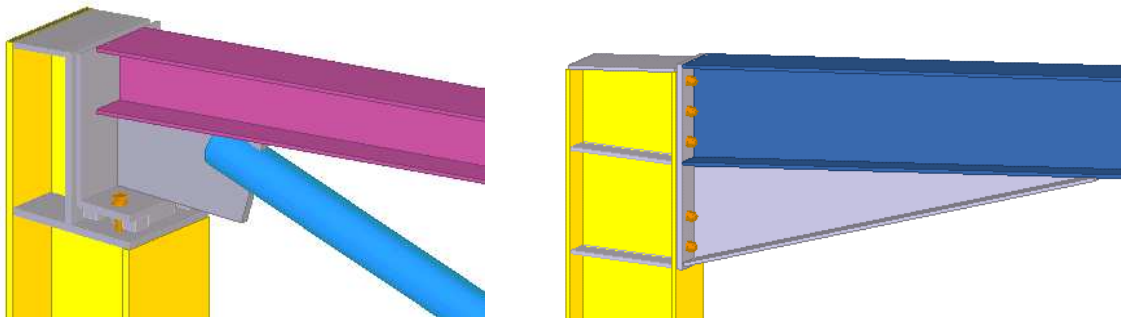
- Pultové
- Sedlové
- Šedové



Obr. 1.5 Tvary příhradových vazníků

Připojení vazníku na sloup

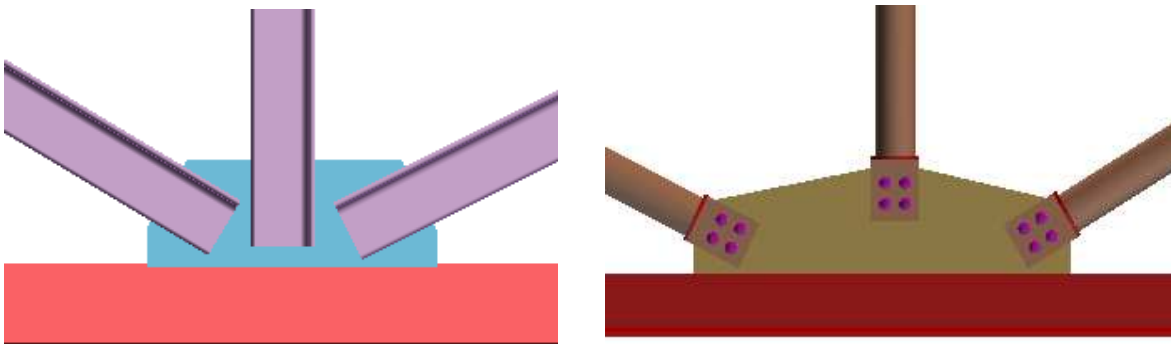
- Kloubové uložení
- Vetknutí



Obr. 1.6 Detaily uložení vazníku na sloup

Připojení výpletových prutů:

- Přivařením – přímo k průběžným pásům
– pomocí styčnickových plechů
- přišroubováním



Obr. 1.7 Detaily připojení prutů příhradových vazníků

Sloupy

Funkcí sloupů je přenášet zatížení střešní konstrukce a jeřábové dráhy do konstrukce základů.

Rozdělení:

Podle konstrukčního řešení:

- Plnostěnné
- Příhradové

Jeřábová dráha může být na sloupy uložena přímo nebo pomocí konzol. Při uložení jeřábových drah přímo je konstrukce sloupu po výšce rozdělena na dřík a špičku. Dolní část (dřík) může být příhradová nebo plnostěnná, horní část (špička) bývá plnostěnná.

Patky

Sloupy se do základů kotví pomocí:

- Kloubových patek
 - Nevyztužené – pouze patní plech
 - Vyztužené – patní plech a výztuhy
- Vetknutých patek – patní plech, příčníky a výztuhy

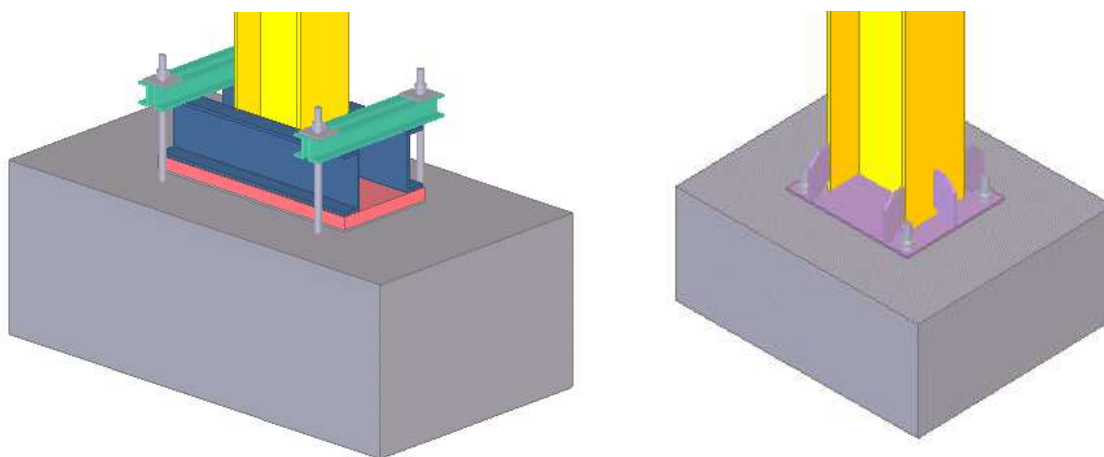
Kloubové patky jsou namáhány normálovými a posouvajícími silami, Patky vetknuté jsou namáhány i na ohybový moment.

Přenos posouvajících sil je zajištěn:

- třením
- smykem ve šroubech
- smykovou zarážkou

Kotvení se provádí jako:

- konstrukční – nepřenáší tah
- nosné – přenáší tah



Obr. 1.8 Detaily kotvení sloupů do základů

Ztužidla

Hlavní funkcí ztužidel je přenášet vodorovná zatížení a zajistit stabilitu konstrukce. Umísťují se do stěnové a střešní roviny.

Podle konstrukčního uspořádání se dělí na:

- Příhradová
- Stěnová
- Desková
- Rámová

Podle Umístění se dělí na:

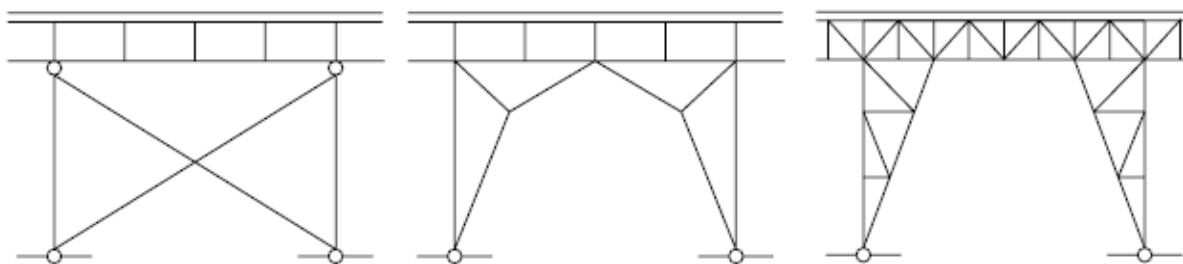
- Střešní
- Stropní
- Stěnová
- Brzdná

Střešní ztužidla zajišťují přenos vodorovných sil od účinků větru, stabilitu a tuhost konstrukce. Zatížení se přenáší do podpůrné konstrukce střechy.

Příčné ztužidlo ve střešní rovině přebírá zatížení ze štítů objektu způsobené účinkem větru. Stejně ztužidlo se umísťuje uprostřed haly.

Podélné svislé ztužidlo zajišťuje polohu vazníku, umísťuje se v místech vertikál.

Brzdné ztužidlo přebírá účinky podélné zatížení způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu, současně i přebírá podélné zatížení větrem. Křížové uspořádání může být navrženo tak, že jeden prut přenáší tah a tlačенý prute je namáhán na vzpěr nebo lze uvažovat s taženým prutem a tlačенý prut vybočí. Příhradový brzdný portál umožňuje využití prostoru.



Obr. 1.9 Uspořádání brzdných ztužidel

Jeřábová dráha

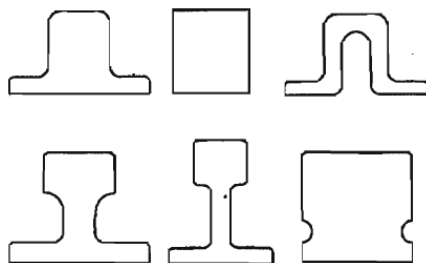
Slouží k pojiždění mostového jeřábu, její součástí je hlavní nosník jeřábové dráhy, kolejnice, vodorovný výztužný nosník, revizní lávky apod.

Ze statického hlediska lze nosníky jeřábových drah rozdělit:

- Spojité nosníky
- Gerberovy nosníky
- Rámové nosníky
- Prosté nosníky

Prosté nosníky nejsou citlivé na pokles podpor, Spojité nosníky vykazují menší spotřebu oceli. Mohou mít také menší konstrukční výšku, ale jsou složitější na řešení. Při použití rámových nosníků není potřeba navrhovat brzdná ztužidla. Gerberovy nosníky se navrhují zřídka.

Kolejnice jeřábové dráhy může být k nosníku jeřábové dráhy uchycena pomocí příchytěk nebo přivařena přerušovanými svary, pokud se nepředpokládá její výměna. Druh a velikost se volí na základě velikostí účinků zatížení, pro mostový jeřáb s nosností 5t je není zapotřebí volit klasický tvar kolejnice.



Obr. 1.10 Základní tvary kolejnic

Vodorovný výztužný nosník se navrhuje jako příhradový, přenáší horizontální účinky sil jeřábu a zajišťuje stabilitu štíhlých vysokých nosníků jeřábové dráhy. Při návrhu jeřábových drah pro jeřáby s malou nosností pokryjí požadavky běžné válcované profily, není pak zapotřebí výztužný nosník navrhovat.

1.2 Řešená konstrukce

Řešenou konstrukcí je ocelová montážní hala o rozměrech 18,0x30,0x7,2m. Pro zastřešení konstrukce byly použity střešní panely KINGSPAN KS1000 XM 100/0,9 s dostatečnou tuhostí, jež zajišťuje ztužení konstrukce v podélném směru. Pro opláštění stěn byly použity stěnové panely KINGSPAN KS1150 FR 80, stěnové i střešní opláštění bylo voleno s ohledem na požární odolnost.

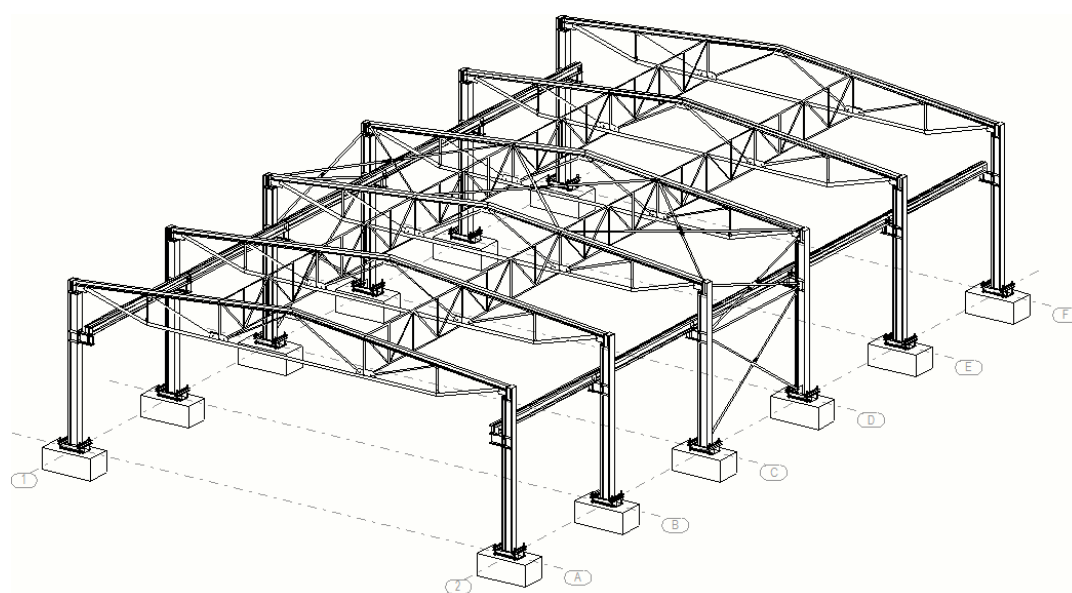
Hlavním vodorovným nosným prvkem je příhradový vazník, uložení vazníku na sloup je navrženo jako kloubové. Zatížení se do vazníku přenáší přímo přes střešní plášť (bezvaznicový systém), kdy střešní plášť je přímo kotven do horního pásu vazníku naváženého z profilu HE180A. Ostatní pruty vazníku byly navrženy z trubkových profilů.

Součástí montážní haly je mostový jeřáb s nosností 5t a rozpětím 16,5m, pro malé zatížení jeřábu byl hlavní nosník jeřábové dráhy navržen z válcovaného profilu HE300A. Ze statického hlediska byl hlavní nosník jeřábové dráhy uvažován jako prosté nosníky ležící na konzolách. Kolejnice pro malé zatížení od jeřábů byla zvolena čtvercového průřezu 50x50 mm a připevněna k hlavnímu nosníku jeřábové dráhy pomocí přerušovaných svarů.

Konzoly profilů IPE360 jsou od osy sloupu vyloženy 0,75m, protože délka od hrany sloupu činí 0,55m nebyly konzoly posuzovány na klopení.

Hlavním svislým prvkem je sloup konstantního průřezu HE400A, který je vetknut do základových patek. Ty jsou tvořeny patním plechem tloušťky 20 mm, profily UPN 180, UPN 100 a kotevními šrouby M36.

Celá konstrukce je z oceli třídy S235.



Obr. 1.11 Vizualizace haly pomocí Tekla Structures

2 Zatížení větrem – EN 1991-1-4

Řešený objekt montážní haly o rozměrech 18m x 30m x 7,2m se nachází ve II. větrné oblasti, definované mapou větrných oblastí (Příloha A). Střešní rovina je od vodorovné vychýlena o úhel 6°, spadá tedy do kategorie střech sedlových. Kategorie terénu byla zvolena jako oblast s nízkou vegetací (Kategorie II), účinky ortografie byly zanedbány.

Zatížení větrem bylo do výpočetního modelu zavedeno jako proměnné se silovými účinky větru působícími kolmo na rovinu konstrukce.

Součinitel směru [-]	Maximální výška [m]	Parametr drsnosti terénu, kategorie II [m]	Minimální výška [m]
$c_{dir} = 1,0$	$z_{max} = 200$	$z_{0,II} = 0,05$	$z_{min} = 5$
Součinitel ročního období [-]	Minimální výška [m]	Součinitel turbulence [-]	Parametr drsnosti terénu [m]
$c_{season} = 1,0$	$z = 7,2$	$k_I = 1,0$	$z_0 = 0,3$

Tab. 2.1 Vstupní hodnoty

Výchozí základní rychlost větru

I	II	III	IV	V
22,5	25	27,5	30	36

Tab. 2.2 Kategorie větrných oblastí

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \rightarrow \text{druhá větrná oblast}$$

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{7,2}{0,3}\right) = 0,683$$

Součinitel ortografie

$$c_0(z) = 1$$

Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,683 * 1,0 * 25 = 17,082 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{7,2}{0,3}\right)} = 0,315$$

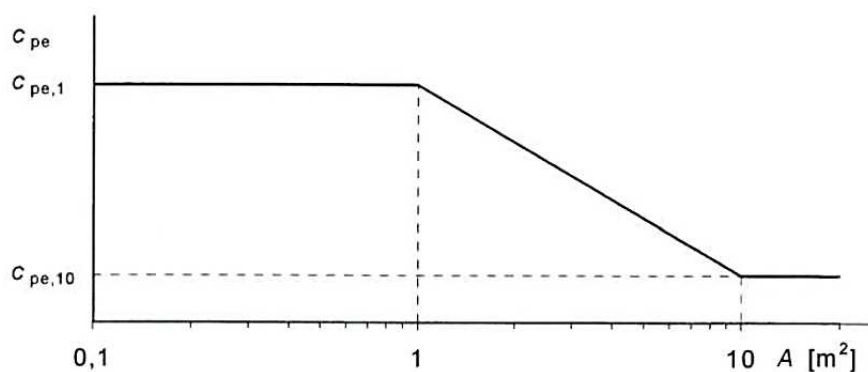
Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = \frac{[1 + 7 * I_v(z)] \rho * v_m^2(z)}{2} = \frac{[1 + 7 * 0,315] 1,25 * 17,082^2}{2} = 0,584 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty vnějšího tlaku byly stanoveny interpolací hodnot závislých na úhlu sklonu střešní roviny uvedených v tabulkách (EN 1991-1-4, strana 38).

Součinitelé vnějšího tlaku závisí na velikosti plochy konstrukce, na které je tvořeno zatížení.

Pro $1\text{m}^2 < A < 10\text{m}^2$



Obr. 2.1 Stanovení součinitele vnějšího tlaku c_{pe}

příčný vítr				podélný vítr			
svislé stěny		střešní plochy		svislé stěny		střešní plochy	
oblast	$c_{pe,10}$ [-]	oblast	$c_{pe,10}$ [-]	oblast	$c_{pe,10}$ [-]	oblast	$c_{pe,10}$ [-]
A	-1,20	F	-1,62	A	-1,20	F	-1,57
B	-0,92	G	-1,16	B	-0,79	G	-1,30
C	-0,50	H	-0,57	C	-0,50	H	-0,69
D	0,72	I	-0,58	D	0,70	I	-0,59
E	-0,34	J	0,08	E	-0,30		

Obr. 2.2 Součinitelé vnějšího tlaku $C_{pe,10}$

Při výpočtu hodnot tlaků větru byly zohledněny vnitřní tlaky, výsledné hodnoty tlaků byly vypočteny dle základních vzorců:

$$w_k = q_p(z) * (C_{pe} - C_{pi,10}^+)$$

kde $C_{pi,10}^+ = +0,2$

$$w_k = q_p(z) * (C_{pe} + C_{pi,10}^-)$$

kde $C_{pi,10}^- = -0,3$

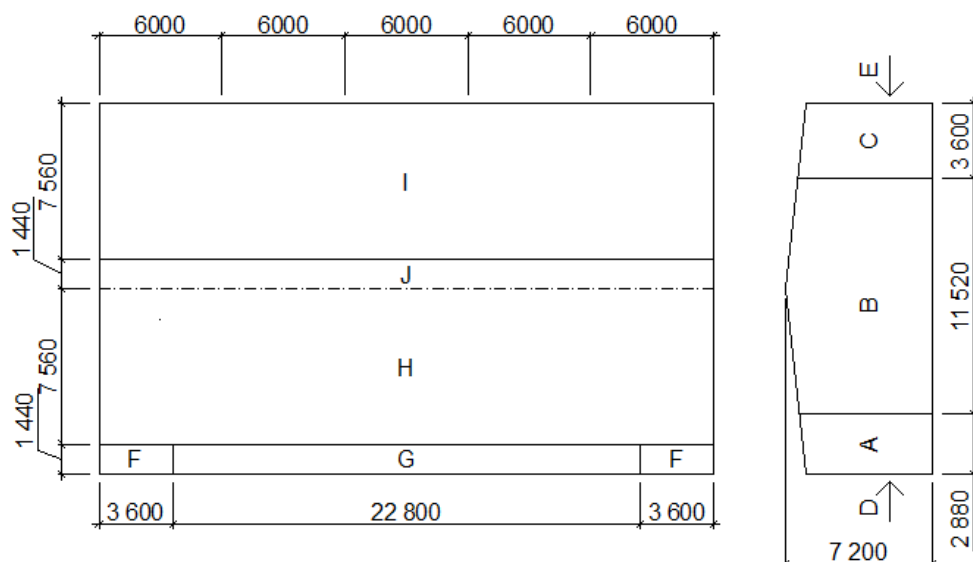
příčný vítr				podélný vítr			
svislé stěny		střešní plochy		svislé stěny		střešní plochy	
oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]
A	-0,82	F	-1,06	A	-0,82	F	-1,03
B	-0,65	G	-0,79	B	-0,58	G	-0,88
C	-0,41	H	-0,45	C	-0,41	H	-0,52
D	0,30	I	-0,46	D	0,29	I	-0,46
E	-0,32	J	-0,07	E	-0,29		

Obr. 2.3 Plošné zatížení pro $C_{pi}=+0,2$

příčný vítr				podélný vítr			
svislé stěny		střešní plochy		svislé stěny		střešní plochy	
oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]	oblast	w_k [kN/m ²]
A	-0,53	F	-0,77	A	-0,53	F	-0,74
B	-0,36	G	-0,50	B	-0,29	G	-0,58
C	-0,12	H	-0,16	C	-0,12	H	-0,23
D	0,60	I	-0,16	D	0,58	I	-0,17
E	-0,02	J	0,22	E	0,00		

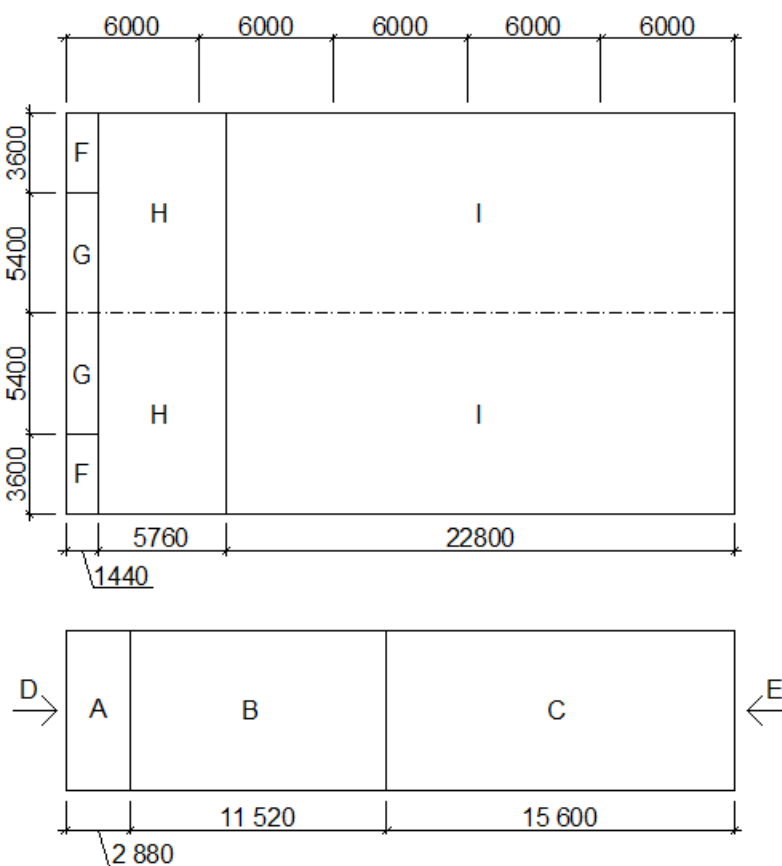
2.1 Schéma zatížení pro sedlové střechy

Příčný vítr



Obr. 2.5 Schéma zatížení - příčný vítr

Podélný vítr



Obr. 2.6 Schéma zatížení - podélný vítr

3 Zatížení sněhem – EN 1991-1-3

Objekt montážní haly se nachází ve II. sněhové oblasti, definované mapou sněhových oblastí (Příloha B). Typ krajiny byl zvolen jako krajina normální. Tvarový součinitel pro sklon střechy 6° odpovídá hodnotě 0,8.

Zatížení sněhem bylo do výpočetního modelu zavedeno jako proměnné, vztažené na půdorysnou plochu střešní roviny. Bylo použito uspořádání zatížení nenavátým a navátým sněhem.

Zatížení sněhem na zemi [kN/m ²]	Tvarový součinitel zatížení sněhem [-]	Tepelný součinitel [-]	Součinitel expozice [-]
$s_k = 0,93 \text{ kN/m}^2$	$\mu_1 = 0,8$	$C_t = 1,0$	$C_e = 1,0$

Tab. 3.1 Vstupní hodnoty

$$s_{k,1} = s_k * \mu_1 * C_t * C_e = 1,0 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

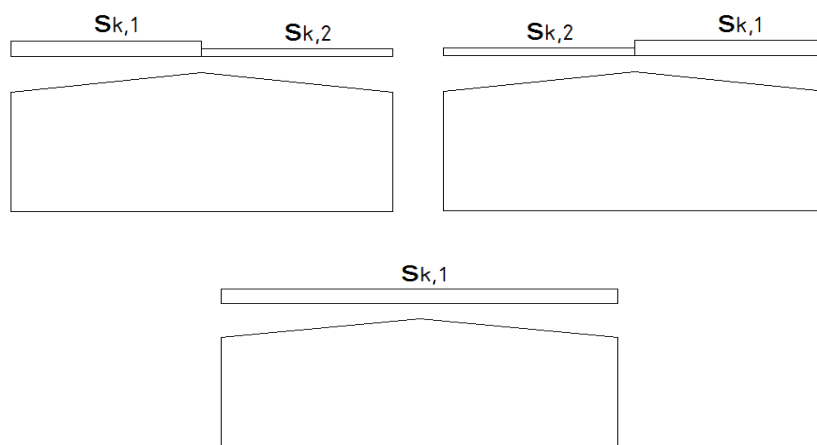
$$s_{k,2} = \frac{s_{k,1}}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace zatížení

	1. kombinace	2. kombinace
Střechy	$w_{F,k} = -1,060 \text{ kN/m}^2$	$s_{k,1} + w_{J,k} = 1,020 \text{ kN/m}^2$
Stěny	$w_{A,k} = -0,820 \text{ kN/m}^2$	$w_{D,k} = 0,600 \text{ kN/m}^2$

Tab. 3.2 Kombinace zatížení

3.1 Schéma zatížení pro sedlové střechy



Obr. 3.1 Schéma zatížení sněhem

4 Střešní plášť

Střešní plášť byl navržen ze střešních panelů **KINGSPAN KS1000 XM 100/0,9**.

Únosnost panelu byla definována výrobcem v technických listech (Příloha C. 1). Panel je sendvičový s nosným plechem na spodní i horní straně a izolačním jádrem IPN. Panel má vysokou pevnost a tuhost v ohybu, lze jej uvažovat jako ztužení. Kotvení panelů se provádí na horní hranu vazníku. Požární odolnost panelu je REI 30.

Panel byl posouzen jako prostý a spojitý nosník o 2 polích pro rozpon 6,0m.

Tloušťka [m]	Modulová šířka [m]	Dodávaná délka [m]	Hmotnost [kg/m ²]
0,8	1,0	2,5-13,5	18,6

Tab. 4.1 Charakteristiky střešního pláště

Prostý nosník

- sání $f_k = 1,15 \text{ kN/m}^2 \geq w_{F,k} = 1,060 \text{ kN/m}^2$

- tlak $f_k = 1,990 \text{ kN/m}^2 \geq s_{k,1} + w_{J,k} = 1,020 \text{ kN/m}^2$

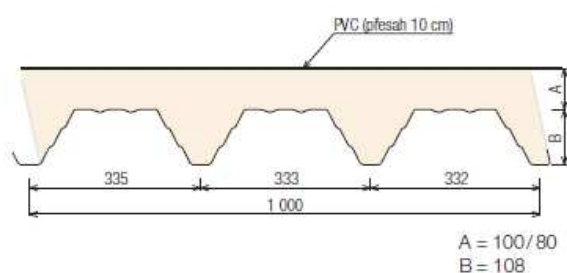
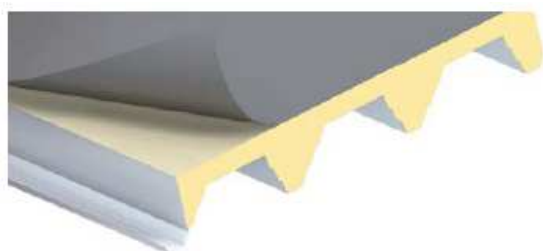
Vyhoví

Spojitý nosník o 2 polích

- sání $f_k = 1,920 \text{ kN/m}^2 \geq w_{F,k} = 1,060 \text{ kN/m}^2$

- tlak $f_k = 1,270 \text{ kN/m}^2 \geq s_{k,1} + w_{J,k} = 1,020 \text{ kN/m}^2$

Vyhoví



Obr. 4.1 Střešní panel KINGSPAN KS1000 XM 100/0,9

5 Obvodový plášť

Obvodový plášť byl navržen ze stěnových panelů **KINGSPAN KS1150 FR 80**.

Únosnost panelu byla definována výrobcem v technických listech panelu (Příloha C. 2). Panel je sendvičový s izolačním jádrem z minerálního vlákna se specifickou požární odolností EI30, EW30. Pokládka panelu se provádí vertikálně i horizontálně.

Panel byl posouzen jako spojitý nosník o 3 a více polích.

Tloušťka [m]	Modulová šířka [m]	Dodávaná délka [m]	Hmotnost [kg/m ²]
0,8	1,15	2,0-10,0	19,25

Tab. 5.1 Charakteristiky stěnového panelu

- sání $f_k = 1,000 \text{ kN/m}^2 \geq w_{A,k} = 0,820 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{max. rozpon } 3,330 \text{ m}$

- tlak $f_k = 1,000 \text{ kN/m}^2 \geq w_{D,k} = 0,600 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{max. rozpon } 3,330 \text{ m}$

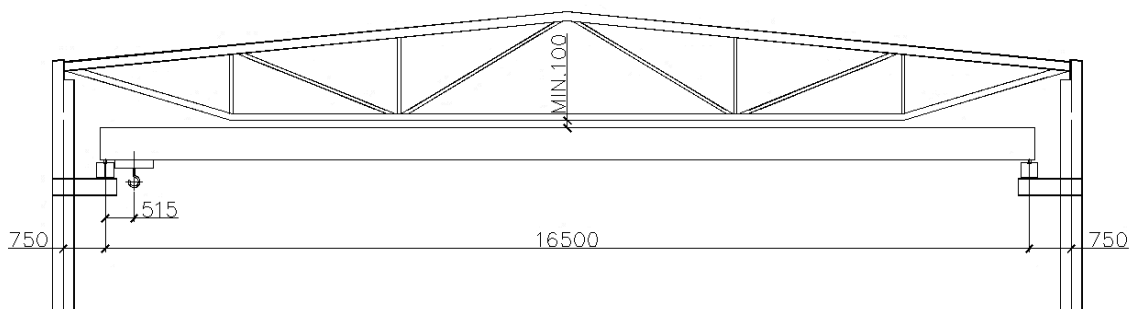
Vyhoví



Obr. 5.1 Stěnový panel KINGSPAN KS1150 FR 80

6 Hlavní nosník jeřábové dráhy

Nosná konstrukce jeřábové dráhy přenáší zatížení mostového jeřábu, kolejnice, kočky a břemena. Je složena z hlavního nosníku, nárazníků a kolejnice, která je k hlavnímu nosníku jeřábové dráhy připevněna pomocí příchytěk nebo svarů. Hlavní nosník byl uvažován jako pět prostých nosníků o rozpětí 6,0 m, podpory nosníku tvoří konzoly hlavních sloupů haly.



Obr. 6.1 Příčný řez

6.1 Výpočet sil působících na jeřábovou dráhu – EN 1991-3

Pro montážní halu byl vybrán mostový jeřáb s nosností 5t pro přemostění vzdálenosti 16,5m.

Rozpětí [m]	Rozvor kol [m]	Dojezd háku kočky [m]	Nosnost [t]
$l_m = 16,5$	$a = 2,5$	$s_2 = 0,515$	$V_b = 5$
Hmotnost jeřábu bez kočky [t]	Hmotnost kočky [t]	Rychlost zdvihu břemene [m/s]	Počet dvojic kol [ks]
$m_j = 3,493$	$m_k = 0,495$	$v_h = 0,083$	$n = 2$

Tab. 6.1 Vstupní hodnoty

Zatížení od jeřábu

Zatížení způsobená jeřáby jsou uvažována jako proměnná, ty lze rozdělit na:

Proměnná

- svislá – tvořená tíhou kladkostroje a vlastní tíhou jeřábu
- vodorovná – způsobená přícením jeřábu, brzděním nebo rozjížděním jeřábu a kočky

Mimořádná

- náraz jeřábu na nárazníky
- klopné síly – střet prostředků pro uchopení břemene s překážkou

Do výpočtu se zavádí dynamické účinky pomocí dynamických součinitelů

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
φ_1	– buzení vibrací konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	vlastní tíhu jeřábu
φ_2 nebo φ_3	– dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu – dynamický účinek náhlého uvolnění užitečného zatížení, jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety	zatížení kladkostroje
φ_4	– dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejích nebo jeřábových drahách	vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje
φ_5	– dynamické účinky vyvolané hnacími silami	hnací síly
φ_6	– dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů	zkušební zatížení
φ_7	– dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	síly na nárazníky

Tab. 6.2 Druhy dynamických součinitelů dle EN – 1991-3

φ_1	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Dvě hodnoty, $\varphi_1 = 1,1$ a $\varphi_1 = 0,9$, vyjadřují horní a dolní hodnoty rázového zatížení.
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$ v_h je ustálená rychlost zvedání v [m/s]; $\varphi_{2,min}$ a β_2 jsou v tabulce 2.5.
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ kde Δm je uvolněná nebo upuštěná část hmotnosti zvedané kladkostrojem; m celková hmotnost zvedaná kladkostrojem; $\beta_3 = 0,5$ pro jeřáby s drapáky nebo podobnými zařízeními pro pomalé uvolnění; $\beta_3 = 1,0$ pro jeřáby osazené magnety nebo podobnými zařízeními pro rychlé uvolnění.
φ_4	$\varphi_4 = 1,0$ za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6.
POZNÁMKA Pokud nejsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6, dynamický součinitel φ_4 může být stanoven podle modelu uvedeného v EN 13001-2.	

Tab. 6.3 Druhy dynamických součinitelů pro svislá zatížení dle EN – 1991-3

Jedná se o montážní jeřáb, který spadá do kategorie HC1, HC2

Třída zvedacích zařízení	β_2	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20
POZNÁMKA Aby byly uváženy dynamické účinky při přemístění břemene ze země na jeřáb, jsou jeřáby zařazeny do tříd zdvihadel HC1 až HC4. Výběr závisí na konkrétním typu jeřábu, viz doporučení v příloze B.		

Obr. 6.2 hodnoty β_2 a $\varphi_{2,min}$ dle EN – 1991-3

Výpočet dynamických součinitelů

$\beta_2 = 0,34 \rightarrow$ třída zvedacích zařízení HC2

$\varphi_{2,min} = 1,10 \rightarrow$ třída zvedacích zařízení HC2

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,10 + 0,34 * 0,083 = 1,128$$

$\varphi_3 = 1,0 \rightarrow$ háky

$\varphi_5 = 1,5 \rightarrow$ systémy, kde se síly mění pozvolna

$\varphi_{1,max} = 1,1$	$\varphi_{1,min} = 0,9$	$\varphi_2 = 1,128$	$\varphi_3 = 1,0$	$\varphi_4 = 1,0$	$\varphi_5 = 1,5$
-------------------------	-------------------------	---------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Tab. 6.4 Součinitelé dynamických účinků

6.1.1 Svislé zatížení

Tlak kola jeřábu bez kočky

$$Q_{ck} = \frac{34,930}{4} = 8,733 \text{ kN}$$

Zatížení kladkostroje

Tíha kočky a břemene

$$Q_{kočka+břemeno} = 4,950 + 50 = 54,95 \text{ kN}$$

Na více zatíženou větev

$$\sum Q_{H,max} = \frac{54,95 * 15,985}{16,5} = 53,235 \text{ kN}$$

Na jedno kolo

$$Q_{H,max} = \frac{53,235}{2} = 26,617 \text{ kN}$$

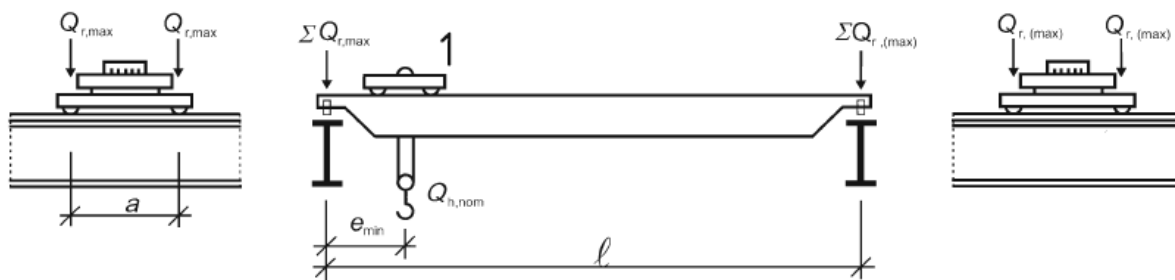
Tíha kočky

$$Q_{kočka} = 4,950 \text{ kN}$$

Na méně zatíženou větev

$$\sum Q_{H,min} = \frac{4,95 * 0,515}{16,5} = 0,155 \text{ kN}$$

Maximální svislé zatížení



Obr. 6.3 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Maximální svislé zatížení

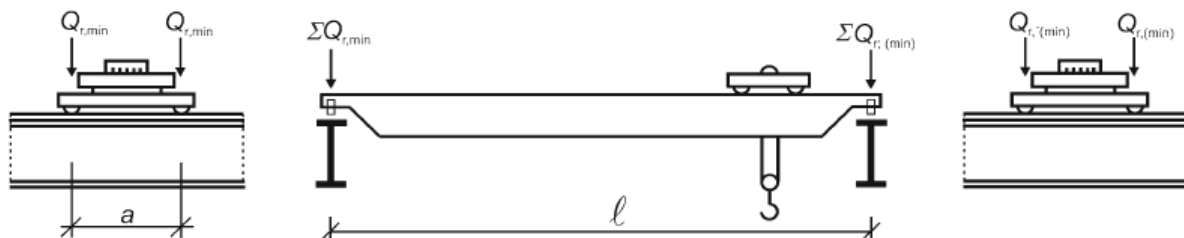
Maximální zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,max} = 2 * Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,max} = 2 * 8,733 + 53,235 = 70,700 \text{ kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 2 * 8,733 + (54,95 - 53,235) = 19,180 \text{ kN}$$

Minimální svislé zatížení



Obr. 6.4 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Minimální svislé zatížení

Minimální zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

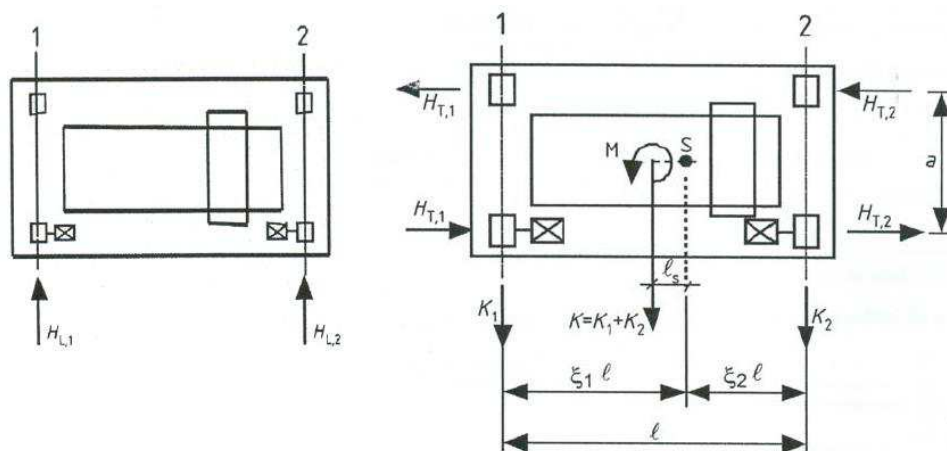
$$\Sigma Q_{r,min} = 2 * Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,min} = 2 * 8,733 + 0,155 = 17,621 \text{ kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 2 * 8,733 + (4,950 - 0,155) = 22,261 \text{ kN}$$

6.1.2 Vodorovné síly

6.1.2.1 Vodorovné síly od zrychlení a zpomalení mostového jeřábu H_L, H_T



Obr. 6.5 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Vodorovné síly H_L, H_T

Hnací síla K je dána vztahem:

$$K = \mu * m_w * Q_{r,min} [kN] \quad (6.1)$$

kde $\mu [-]$ je součinitel tření, pro tření mezi povrchy ocel – ocel nabývá hodnoty 0,2

$m_w[kS]$ počet pohonů jednotlivých kol

$$K = \mu * m_w * Q_{r,min} = 0,2 * 2 * \frac{17,621}{2} = 3,524 \text{ kN}$$

Síly v podélném směru H_L

Síly v podélném směru jsou způsobeny zrychlením nebo zpomalením jeřábu, jsou stanoveny vztahem:

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r} [kN] \quad (6.2)$$

kde $\varphi_5 [-]$ je dynamický součinitel vyvolaný hnacími účinky

$K[kN]$ hnací síly

$n_r [-]$ počet nosníků jeřábové dráhy

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r} = 1,5 * 3,524 * \frac{1}{2} = 2,643 \text{ kN}$$

Síly v příčném směru H_T

Působením hnací síly vznikl moment M , který je těmito silami držen v rovnováze.

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a} \quad (6.3a)$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} \quad (6.3b)$$

kde $\varphi_5 [-]$ je dynamický součinitel vyvolaný hnacími účinky

$a [-]$ vzdálenost vodících kladek nebo kol s nákolky

$M[kNm]$ moment vyvolaný hnací silou

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)}} = \frac{70,700}{70,700 + 19,180} = 0,787$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,787 = 0,213$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) * l = (0,787 - 0,5) * 16,5 = 4,736 \text{ m}$$

$$M = K * l_s = 3,524 * 4,736 = 16,690 \text{ kNm}$$

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a} = 1,5 * 0,213 * \frac{16,690}{2,5} = 2,133 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} = 1,5 * 0,787 * \frac{16,690}{2,5} = 7,881 \text{ kN}$$

6.1.2.2 Vodorovné síly H_S a síla na vedení S , způsobené přičením

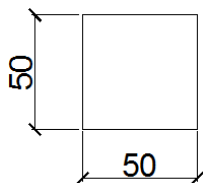
Úhel přičení α má být zvolen podle mezery mezi vodícími prostředky a odchylky rozměrů a opotřebení, lze jej stanovit:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0,015 \text{ rad} \quad (6.4)$$

Úhly α_i	Minimální hodnoty α_i
$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a_{ext}}$	$0,75x \geq 5 \text{ mm}$ pro vodící kladky
	$0,75x \geq 10 \text{ mm}$ pro nákolky kol
$\alpha_V = \frac{y}{a_{ext}}$	$y \geq 0,03b$ [mm] pro vodící kladky
	$y \geq 0,10b$ [mm] pro nákolky kol
α_0	$\alpha_0 = 0,001$
Kde a_{ext} je mezera mezi vodícími kladkami nebo nákolky kol; b šířka hlavy kolejničky; x vůle mezi kolejnici a vodícími prostředky (příčný prokluz); y opotřebení kolejničky a vodících prostředků; α_0 tolerance směru kol a kolejniček.	

Obr. 6.6 Úhel přičení dle EN – 1991-3

Pro mostový jeřáb s nosností 5t byla na navržena kolejnička profilu 50x50



Obr. 6.7 Kolejnička

$b = 50 \text{ mm} \rightarrow$ šířka hlavy kolejničky

$a = 2,5 \text{ m}$

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 = \frac{0,75 * x}{a} + \frac{y}{a} + 0,001 = \frac{0,01}{2,5} + \frac{0,1 * 0,050}{2,5} + 0,001 = 0,007$$

$$\alpha = 0,007 \leq 0,015 \text{ rad}$$

Součinitel reakcí přičení je dán vztahem:

$$f = 0,3(1 - e^{-250\alpha}) \leq 0,3 \quad (6.5)$$

kde α [rad] je úhel přičení

$$f = 0,3(1 - e^{-250\alpha}) = 0,3(1 - e^{-250*0,007}) = 0,248 \leq 0,3$$

Vzdálenost h mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prvky

Uložení kol vzhledem k bočním pohybům	Kombinace dvojic kol		h
	spojená (c)	nezávislá (l)	
Pevný/Pevný FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Pevný/Pohyblivý FM			$\frac{m \xi_1 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

Kde h je vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prostředky;
 m počet spojených dvojic kol ($m = 0$ pro nezávislé dvojice kol);
 $\xi_1 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejničky 1;
 $\xi_2 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejničky 2;
 ℓ rozpětí zařízení;
 e_j vzdálenost dvojice kol j od příslušných vodících prostředků.

Obr. 6.8 Vzdálenost h dle EN – 1991-3

$m = 0 \rightarrow$ nezávislá dvojice kol

$e_j = 2,5m$

$$h = \frac{m \xi_1 \xi_2 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 2,5^2}{2,5} = 2,5m$$

Součinitelé síly $\lambda[-]$ závisí na vzdálenosti h a kombinaci kol

Systém	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Kde n je počet dvojic kol;
 $\xi_1 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejničky 1;
 $\xi_2 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejničky 2;
 ℓ rozpětí zařízení;
 e_j vzdálenost dvojice kol j od příslušných vodících prostředků;
 h vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prostředky.

Obr. 6.9 Hodnoty λ dle EN – 1991-3

$$e_j = 2,5m$$

$$n = 2$$

$$\lambda_{S,j} = 1 - \frac{\sum e_j}{nh} = 1 - \frac{2,5}{2 * 2,5} = 0,5$$

$$\lambda_{S,1,1,L} = \lambda_{S,1,2,L} = \lambda_{S,2,1,L} = \lambda_{S,2,2,L} = 0$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,213}{2} \left(1 - \frac{0}{2,5}\right) = 0,107$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,213}{2} \left(1 - \frac{2,5}{2,5}\right) = 0$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,787}{2} \left(1 - \frac{0}{2,5}\right) = 0,394$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,787}{2} \left(1 - \frac{2,5}{2,5}\right) = 0$$

Síla na vedení $S[kN]$ se stanoví dle rovnice:

$$S = f \lambda_S \sum Q_r \quad (6.6)$$

kde $f [-]$ je součinitel reakcí přičení

$\lambda_S [-]$ součinitel síly

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{(max)} = 70,700 + 19,18 = 89,882 \text{ kN}$$

$$S = f \lambda_S \sum Q_r = 0,255 * 0,5 * 89,882 = 11,466 \text{ kN}$$

Vodorovné síly H_S

$$H_{S,2,2,L} = H_{S,2,1,L} = H_{S,1,2,L} = H_{S,1,1,L} = f \lambda_{S,1,1,L} \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

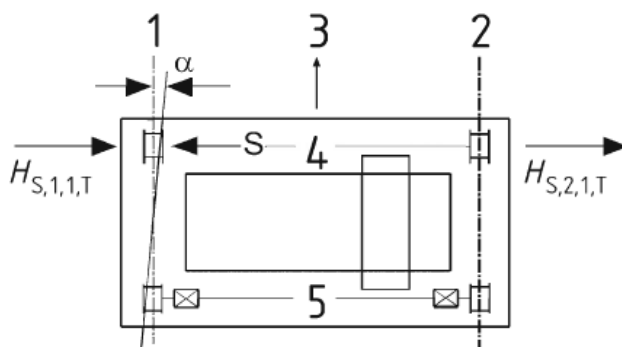
$$H_{S,1,1,T} = f \lambda_{S,1,1,T} \sum Q_r = 0,255 * 0,107 * 89,880 = 2,447 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,2,T} = H_{S,2,2,T} = f\lambda_{S,2,2,T} \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

Vedení pomocí nákolků

$$H_{S,1,T,k} = S - H_{S,1,1,T} = 11,466 - 2,477 = 9,019 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,T,k} = H_{S,2,1,T} = 9,019 \text{ kN}$$



Obr. 6.10 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1991-3 - Příčeni

6.1.2.3 Vodorovné síly H_T od zrychlení nebo zpomalení kočky

$$H_{T3} = 0,1 * 54,95 = 5,495 \text{ kN} \quad (10\% \text{ ze svislých sil})$$

$$H_{T3,1,k} = \frac{5,495}{2} * \frac{15,985}{16,5} = 2,662 \text{ kN}$$

$$H_{T3,2,k} = \frac{5,495}{2} * \frac{0,515}{16,5} = 0,086 \text{ kN}$$

6.1.3 Rekapitulace zatížení působících na jeřábovou dráhu

Skupiny zatížení byly stanoveny tabulkou, skupina zatížení 1 byla vyhodnocena jako nejnepříznivější (největší hodnoty dynamických součinitelů) a byla použita pro posudek jeřábové dráhy.

		Značka	Kapitola	Skupina zatížení									
				Mezní stav únosnosti								Zkušební zatížení	Mimořádná
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Vlastní tíha jeřábu	Q_C	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Zatížení kladkostroje	Q_H	2.6	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
4	Příčení mostu jeřábu	H_S	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Zrychlení nebo brzdění kočky nebo pojízdného kladkostroje	H_{T3}	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vítr při provozu	F_W^*	Příloha A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Zkušební zatížení	Q_T	2.10	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Síly na nárazník	H_B	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Klopné síly	H_{TA}	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
POZNÁMKA Vítr při provozu – viz příloha A.													
¹⁾ η je část zatížení kladkostroje, která zůstává, když je odstraněno užitečné zatížení, ale není zahrnuta do vlastní tíhy jeřábu.													

Obr. 6.11 Použití dynamických součinitelů

Skupina zatížení 1

Svislé zatížení

$$Q_{r,k} = \varphi_1 Q_{C,k} + \varphi_2 Q_{H,k} = 1,1 * 8,733 + 1,128 * 26,617 = 39,630 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \varphi_1 Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \varphi_2 Q_{H,k} = 1,35 * 39,630 = 53,501 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení zrychlením nebo zpomalením jeřábu

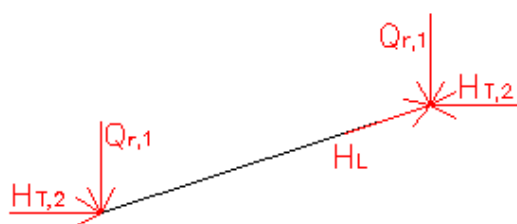
$$H_{T,2,k} = 7,881 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma_{Qsup} H_{T,2,k} = 1,35 * 7,881 = 10,639 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení způsobené zrychlením nebo zpomalením jeřábu

$$H_{L,k} = 2,643 \text{ kN}$$

$$H_{L,d} = \gamma_{Qsup} H_{L,k} = 1,35 * 2,643 = 3,568 \text{ kN}$$



Skupina zatížení 5

Svislé zatížení

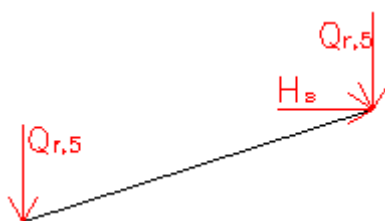
$$Q_{r,k} = \varphi_4 Q_{C,k} + \varphi_4 Q_{H,k} = 1,0 * 8,733 + 1,0 * 26,617 = 35,350 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \varphi_4 Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \varphi_4 Q_{H,k} = 1,35 * 35,35 = 47,723 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení způsobené přičením

$$H_{S,k} = H_{S,2,T,k} = 9,019 \text{ kN}$$

$$H_{S,d} = \gamma_{Qsup} H_{S,k} = 1,35 * 9,019 = 12,175 \text{ kN}$$



Skupina zatížení 6

Svislé zatížení

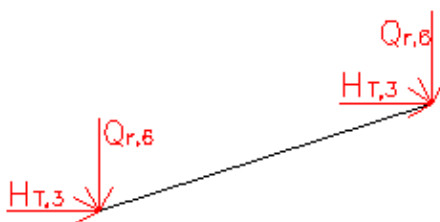
$$Q_{r,k} = \varphi_4 Q_{C,k} + \varphi_4 Q_{H,k} = 1,0 * 8,733 + 1,0 * 26,617 = 35,35 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \varphi_4 Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \varphi_4 Q_{H,k} = 1,35 * 35,35 = 47,723 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky

$$H_{T,3k} = H_{T,3,1,k} = 2,662 \text{ kN}$$

$$H_{S,d} = \gamma_{Qsup} H_{T,3k} = 1,35 * 2,662 = 3,594 \text{ kN}$$



6.1.4 Výpočet vnitřních sil

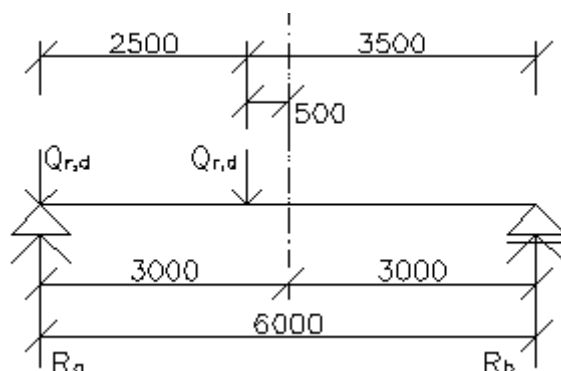
6.1.4.1 Svislé síly

Postavení sil pro A_{max}

Nejnepříznivější poloha vznikne umístěním, kde je první síla umístěna v podpoře.

$$R_a = \frac{Q_{r,d} * 6,0 + Q_{r,d} * 3,5}{6,0} = \frac{53,501 * 6,0 + 53,501 * 3,5}{6,0} = 84,710 \text{ kN}$$

$$R_b = 2 * Q_{r,d} - R_a = 2 * 53,501 - 84,710 = 22,292 \text{ kN}$$



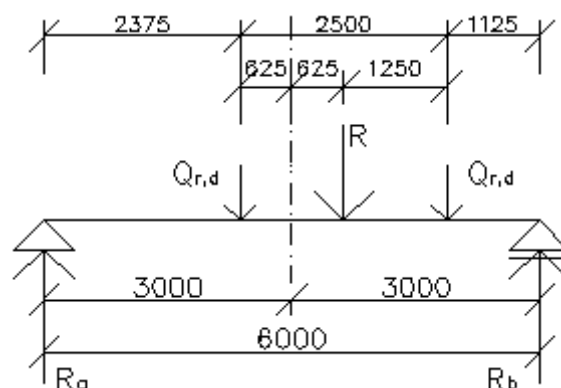
Obr. 6.12 Postavení sil A_{max}

Postavení pro M_{max}

Největší moment na prostém nosníku vznikne v případě, kdy střed nosníku pólí vzdálenost mezi výslednicí sil a první síly.

$$R_a = \frac{2 * Q_{r,d} * (1,250 + 1,125)}{6,0} = \frac{2 * 53,501 * (1,250 + 1,125)}{6,0} = 42,355 \text{ kN}$$

$$M_{max} = R_a * 2,375 = 42,355 * 2,375 = 100,593 \text{ kNm}$$



Obr. 6.13 Postavení sil M_{max}

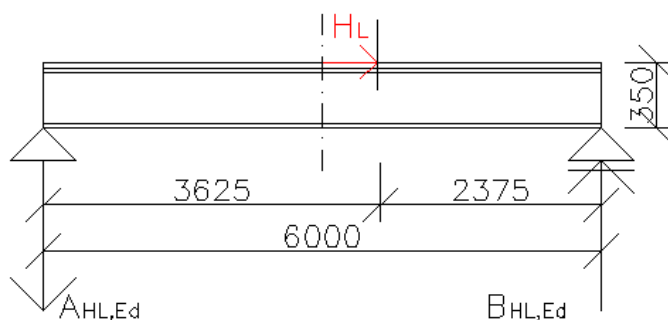
6.1.4.2 Vodorovné podélné síly

$$H_{L,d} = 3,568 \text{ kN}$$

$$e = h_{kolejnice} + h_{nosník} = 50 + 300 = 350 \text{ mm}$$

$$A_{H_{L,Ed}} = \frac{H_{L,d} * e}{L} = \frac{3,568 * 0,350}{6,0} = 0,208 \text{ kN}$$

$$M_{H_{L,Ed}} = 0,208 * 3,625 = 0,755 \text{ kNm}$$



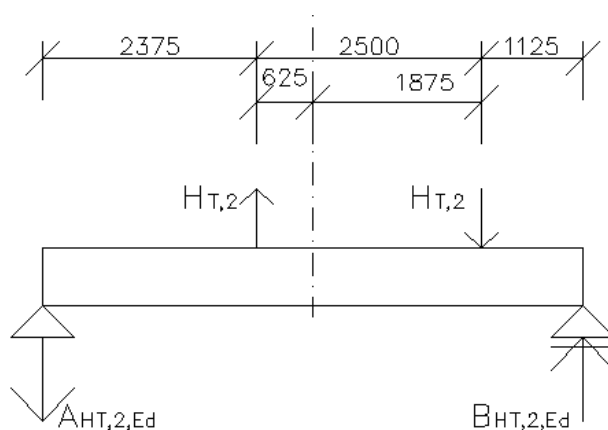
Obr. 6.14 Podélné síly

6.1.4.3 Vodorovné příčné síly

$$H_{T,2,d} = 10,639 \text{ kN}$$

$$A_{H_{T,2Ed}} = \frac{H_{T,2,d} * 3,625 - H_{T,2,d} * 1,125}{6,0} = \frac{10,639 * 3,625 - 10,639 * 1,125}{6,0} = 4,433 \text{ kN}$$

$$M_{H_{T,2Ed}} = A_{H_{T,2Ed}} * 2,375 = 4,433 * 2,375 = 10,528 \text{ kNm}$$



Obr. 6.15 Příčné síly

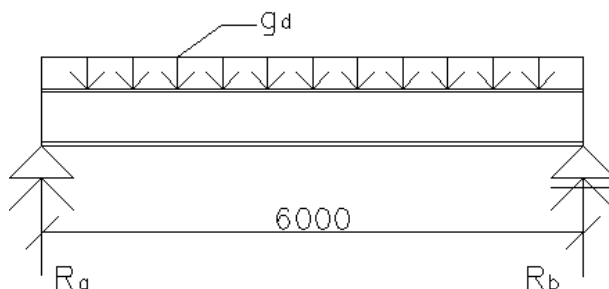
Stálé zatížení jeřábové dráhy:

Kolejnice jeřábové dráhy	Hlavní nosník jeřábové dráhy
$g_{1,k} = 0,196 \text{ kN/m}$	$g_{2,k} = 0,883 \text{ kN/m}$

Tab. 6.5 Stálé zatížení jeřábové dráhy

Celkové zatížení stálé

$$g_d = (g_{1,k} + g_{2,k}) * \gamma_G = (0,196 + 0,883) * 1,35 = 1,457 \text{ kN/m}$$



Obr. 6.16 Schéma zatížení jeřábové dráhy

Reakce:

$$R_a = R_b = \frac{g_d * l}{2} = \frac{1,457 * 6,0}{2} = 4,369 \text{ kN}$$

Moment:

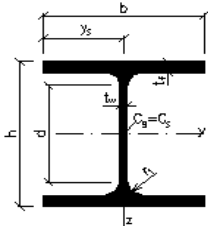
$$\begin{aligned}
 M_{g,Ed} &= R_a * (1,250 + 1,125) - \frac{g_d * (1,250 + 1,125)^2}{2} = \\
 &= 5,338 * (1,250 + 1,125) - \frac{1,457 * (1,250 + 1,125)^2}{2} = 8,569 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Rekapitulace vnitřních sil

zatížení		$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	N_{ed} [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]
stálé		8,569	0,000	0,000	4,369
svislé zatížení do kol jeřábu	postavení M_{max}	100,593	0,000	0,000	42,355
	postavení A_{max}	0,000	0,000	0,000	84,710
vodorovná podélná síla		0,755	0,000	3,568	0,208
vodorovná příčná síla		0,000	10,528	10,639	4,433

Tab. 6.6 Rekapitulace sil působících na jeřábovou dráhu

6.2 Posudek nosníku jeřábové dráhy

HE300A			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 290 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 300 \text{ mm}$		$I_y = 1.83\text{E}+8 \text{ mm}^4$	$I_z = 6.31\text{E}+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 14 \text{ mm}$		$W_{yI} = 1.26\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$W_{zI} = 4.21\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 8.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 1.38\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 6.41\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$r = 27 \text{ mm}$		$i_y = 127.4 \text{ mm}$	$i_z = 74.9 \text{ mm}$
$y_s = 150 \text{ mm}$		$S_y = 6.92\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 3.21\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$d = 208 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 11250 \text{ mm}^2$		$I_w = 1.20\text{E}+12 \text{ mm}^6$	$I_t = 8.52\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.72 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 88.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 69.89 \text{ mm}$	$i_{pc} = 147.8 \text{ mm}$

Tab. 6.7 Průřezové charakteristiky profilu HEA300

6.2.1 Mezní stav únosnosti

Zatřídění průřezu – EN 1993-1-1

Horní pás

$$\frac{c}{t_f} = \frac{118,750}{14} = 8,482 \leq 9 * \varepsilon = 9 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,470 \leq 72 * \varepsilon = 72 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Jeřábové dráhy se přes zatřídění do třídy průřezu 1 řeší pružně

6.2.1.1 Boulení od ohybu pásnic – EN 1993-1-5

Plocha stojiny

$$A_w = h_w * t_w = 208 * 8,5 = 1768 \text{ mm}^2$$

kde $h_w [\text{mm}]$ je výška stojiny

Plocha pásnice

$$A_f = b * t_f = 300 * 14 = 4200 \text{ mm}^2$$

Pro zabránění vybočení tlačené pásnice v rovině stojiny má být splněna podmínka:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k * \frac{E}{f_y} * \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

kde $k [-]$ je součinitel, jehož hodnota je 0,3 (platí pro pásnici třídy 1)

$f_y [\text{MPa}]$ mez kluzu při teplotě 20 °C

$A_{fc} [\text{mm}^2]$ účinná plocha tlačené pásnice

$E [\text{MPa}]$ modul pružnosti v tahu a tlaku

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,470 \leq k * \frac{E}{f_y} * \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0,3 * \frac{210000}{235} * \sqrt{\frac{1768}{4200}} = 173,936$$

Vyhoví

6.2.1.2 Namáhání smykem – EN 1993-1-1

Musí být splněna podmínka:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

kde $V_{z,Ed} [\text{kN}]$ je návrhová hodnota smykové síly

$V_{pl,Rd} [\text{kN}]$ návrhová únosnost ve smyku

a) postavení břemen vyvolávající A_{\max}

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{z,Ed} = 84,710 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu pro nevyztužení stojiny – EN 1993-1-5

$$\frac{c}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,470 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{\sqrt{\frac{235}{f_y}}}{1,0} = 72 * \frac{\sqrt{\frac{235}{235}}}{1,0} = 72$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1768 * 235}{1 * \sqrt{3}} = 239,878 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{84,710}{239,878} = 0,353 \leq 1,0$$

Vyhoví

b) postavení břemen vyvolávající M_{\max}

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{84,710}{239,878} = 0,353 \leq 0,5$$

Malý smyk → bez redukce únosnosti v ohybu

6.2.1.3 Namáhání ohybem a osovou silou – EN 1993-1-1

Ztráta stability celého průřezu vzpěrným vybočením

Musí být splněna podmínka:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

kde $N_{Ed} [kN]$ je návrhová hodnota tlakové síly

$N_{b,Rd} [kN]$ návrhová únosnost v tlaku

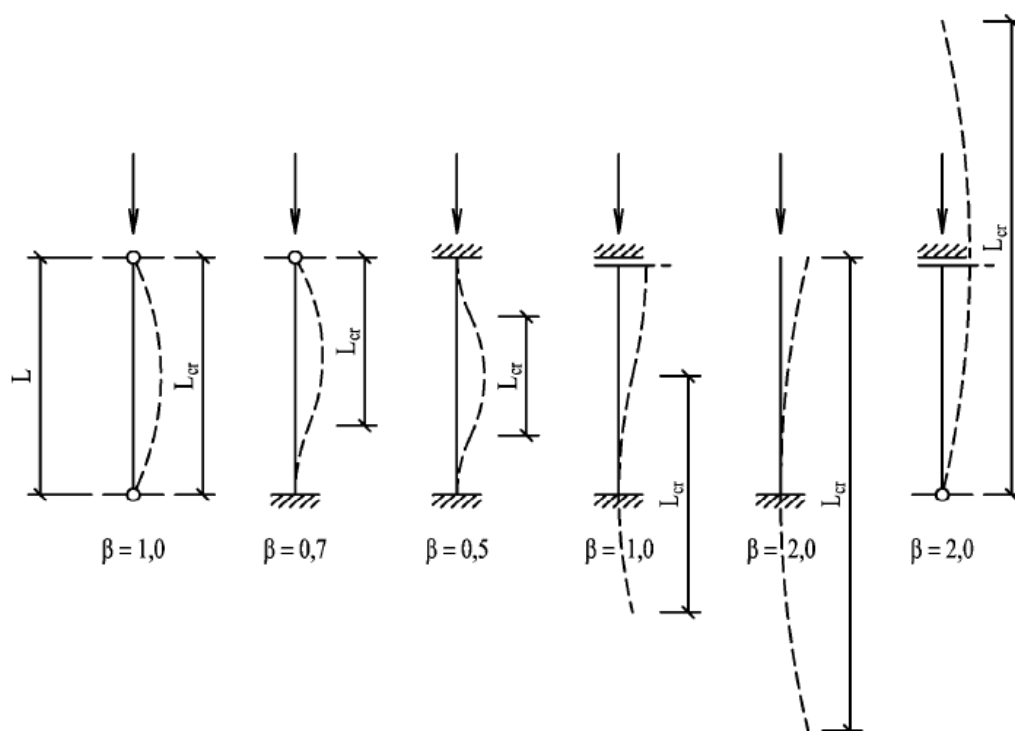
Stanovení vzpěrných délek L_{cr}

Vzpěrnou délkou se rozumí vzdálenost inflexních bodů křivky pro vybočení náhradního prutu, je dána výrazem:

$$L_{cr} = L * \beta$$

kde L [mm] je délka prutu

β [–] součinitel vzpěrné délky, závisí na způsobu uložení prutu



Obr. 6.17 Součinitelé vzpěrné délky

Nosník jeřábové dráhy je uvažován jako kloubově podepření, vzpěrné délky jsou tedy:

$$L_{cr,z} = L * \beta = 6000 * 1,0 = 6000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L * \beta = 6000 * 1,0 = 6000 \text{ mm}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

kde f_y [MPa] je mez kluzu při teplotě 20 °C

Vybočení k ose y

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = L_{cr,y} * \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 6000 * \sqrt{\frac{11300}{183 * 10^6}} = 47,148$$

kde $I_y [mm^4]$ je moment setrvačnosti průřezu k ose y

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{47,148}{93,9} = 0,502 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru nelze zanedbat}$$

Součinitel imperfekce α

Hodnota součinitele imperfekce závisí na tvaru průřezu, způsobu vybočení a třídy oceli.

Stanovuje se podle tabulky viz. Příloha G.

Průřezu HE300A je pro vybočení k ose y přiřazena **křivka vzpěrnosti b**, protože:

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0,967 \leq 1,2$$

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

$$\alpha_y = 0,34$$

Křivka vzpěrné pevnosti	a ₀	a	b	c	d
Součinitel imperfekce α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Obr. 6.18 Součinitel imperfekce α

Součinitel vzpěrnosti lze získat rovnicí:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{kde } \phi_y = 0,5 * [1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] =$$

$$= 0,5 * [1 + 0,34 * (0,502 - 0,2) + 0,502^2] = 0,677$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,677 + \sqrt{0,677^2 - 0,502^2}} = 0,884 \leq 1,0$$

Vybočení k ose z

Kritická štíhlost

$$\lambda_z = L_{cr,z} * \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 6000 * \sqrt{\frac{11300}{63,1 * 10^6}} = 80,293$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{80,09}{93,9} = 0,855 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru nelze zanedbat}$$

Součinitel imperfekce α

$$\alpha_z = 0,49 \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti } c$$

$$\phi_z = \frac{1}{2} * [1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = \frac{1}{2} * [1 + 0,49 * (0,855 - 0,2) + 0,855^2] = 1,026$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,026 + \sqrt{1,026^2 - 0,855^2}} = 0,628 \leq 1,0$$

Návrhová vzpěrná únosnost pro prvky třídy 1 je dána vztahem:

$$N_{b.Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

Součinitel vzpěrnosti se volí:

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,884; 0,628) = 0,628$$

Návrhová únosnost v tlaku

$$N_{b.Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,628 * \frac{11250 * 235}{1,0} = 1660,275 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota tlakové síly

$$N_{Ed} = 3,568 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{3,568}{1660,275} = 2,149 * 10^{-3} \leq 1,0$$

Vyhoví

6.2.1.4 Únosnost na klopení – EN 1993-1-1

Musí být splněna podmínka:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

kde $M_{Ed} [kN]$ je návrhová hodnota ohybového momentu

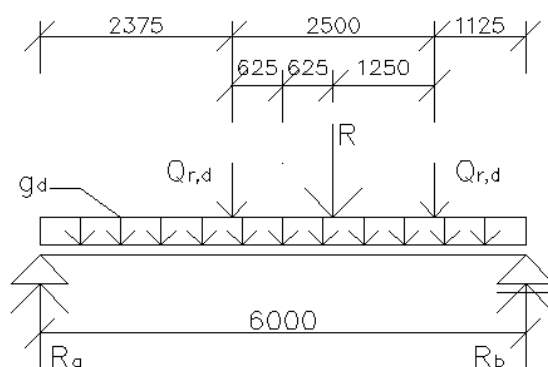
$M_{b,Rd} [kN]$ návrhová únosnost v ohybu při klopení

Kolejnice jeřábové dráhy	Hlavní nosník jeřábové dráhy	Tlak kola
$g_{1,k} = 0,196 \text{ kN/m}$	$g_{2,k} = 0,883 \text{ kN/m}$	$Q_{r,d} = 53,501 \text{ kN}$

Tab. 6.8 Zatížení nosníku pro klopení

Celkové zatížení stálé

$$g_d = (g_{1,k} + g_{2,k}) * \gamma_G = (0,196 + 0,883) * 1,35 = 1,457 \text{ kN/m}$$



Obr. 6.19 Schéma zatížení

$$R_a = \frac{Q_{r,d} * 3,625 + g_d * 6,0 * 3,0 + Q_{r,d} * 1,125}{6,0} =$$

$$= \frac{53,501 * 3,625 + 1,457 * 6,0 * 3,0 + 53,501 * 1,125}{6,0} = 46,728 \text{ kN}$$

$$M_{max} = R_a * 2,375 - \frac{g_d * x^2}{2} = 46,728 * 2,375 - \frac{1,457 * 2,375^2}{2} = 106,869 \text{ kNm}$$

Vzpěrné délky

$$L_z = 6000 \text{ mm}$$







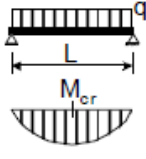
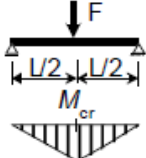
$$L_w = 6000 \text{ mm}$$

Součinitelé interakce

$k_z = k_w = 1,0 \rightarrow$ kloubové uložení obou konců nosníku

Parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 6000} * \sqrt{\frac{210 * 10^3 * 1,2 * 10^{12}}{81 * 10^3 * 8,52 * 10^6}} = 0,316$$

Zatížení a podmínky podpěření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
	k_y	k_z	k_w	C_1 ¹⁾		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	 $\psi_f = -1$	 $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	 $\psi_f = 1$	 $\psi_f = -1$	 $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	 $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44
	1	1	1	1,35	1,36	0,52	0,55	0,42	1,00	0,41	0,31
	1	1	0,5	1,35	1,45	0,52	0,58	0,42	1,00	0,67	0,31
	1	0,5	1	1,03	1,09	0,40	0,45	0,42	0,80	0,34	0,31
	1	0,5	0,5	1,03	1,07	0,40	0,44	0,42	0,80	0,52	0,31

Tab. 6.9 Hodnoty součinitelů C_1 , C_2 , C_3 dle EN – 1993-1-1

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt} = 1,13 + 0 = 1,13 \leq C_{1,1} = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

Parametr nesymetrie průřezu

$$\varsigma_j = \frac{\pi * z_j}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = 0$$

Parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\varsigma_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 1,0}{1,0 * 6000} * \sqrt{\frac{210 * 10^3 * 6,31 * 10^7}{81 * 10^3 * 8,52 * 10^5}} = 0,008$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 * \varsigma_g - C_3 * \varsigma_j)^2} - (C_2 * \varsigma_g - C_3 * \varsigma_j) \right] = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,639^2} \right]$$

$$= 2,196$$

$$= \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,316^2 + (0,46 * 0,008)^2} - (0,46 * 0,008) \right] = 1,181$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} =$$

$$= 1,181 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^3 * 6,31 * 10^7 * 81 * 10^3 * 8,52 * 10^5}}{6000} = 591 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,38 * 10^6 * 235}{591}} = 0,741$$

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Tab. 6.10 Křivky klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0,967 \leq 2,0 \rightarrow \text{křivka klopení b}$$

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tab. 6.11 součinitel imperfekce při klopení

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,741 - 0,2) + 0,741^2] =$$

$$= 0,831$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,831 + \sqrt{0,831^2 - 0,741^2}} = 0,828 \leq 1,0$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{cr,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = 0,828 * \frac{1,020 * 235}{1,0} = 198,472 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{cr,Rd}} = \frac{106,869}{198,472} = 0,539 \leq 1,0$$

Vyhoví

Ověření napětí

Podélné normálové napětí na horní pásnici

Pro stálé zatížení	Pro postavení M_{max}	Pro podélnou sílu
$M_{g,y,Ed} = 8,569 \text{ kNm}$	$M_{Qr,y,Ed} = 100,593 \text{ kNm}$	$N_{HL,Ed} = H_{L,d} = 3,568 \text{ kN}$
Pro podélnou sílu	Pro příčnou sílu	Pro příčnou sílu
$M_{HL,Ed} = 0,755 \text{ kNm}$	$N_{HT,2,Ed} = 10,639 \text{ kN}$	$M_{HT,2,Ed} = 10,528 \text{ kNm}$

Tab. 6.12 Vnitřní síly

Kombinace zatížení – stálé + zatížení od jeřábu

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,horní\ okraj}} = \frac{8,569}{1,262} = 6,790 \text{ MPa}$$

Napětí od svislého zatížení od kol jeřábu

$$\sigma_{x,Qr,Ed} = \frac{M_{Qr,y,Ed}}{W_{y,horní\ okraj}} = \frac{100,593}{1,262} = 79,709 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovné podélné síly $H_{L,D}$

$$\sigma_{x,H_L,Ed} = \frac{N_{HL,Ed}}{\chi * A} + \frac{M_{HL,Ed}}{W_{y,horní\ okraj}} = \frac{3,568}{0,628 * 11300} + \frac{0,755}{1,262} = 0,641 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovných příčných sil $H_{T,2}$

$$\sigma_{x,H_{T,2},Ed} = \frac{N_{HT,2,Ed}}{\chi_z * A_p} + \frac{M_{HT,2,Ed}}{W_{z,p}} = \frac{10,639}{0,644 * 5283,750} + \frac{10,528}{0,313} = 33,639 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed} + \sigma_{x,H_{T,2},Ed} + \sigma_{x,Q_r,Ed} =$$

$$\sigma_{x,Ed} = 6,790 + 79,709 + 0,641 + 33,639 = 120,779 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 120,779 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhoví

Podélné normálové napětí na dolní pásnici

Pro stálé zatížení	Pro postavení M_{max}
$M_{g,y,Ed} = 8,569 \text{ kNm}$	$M_{Q_r,y,Ed} = 100,593 \text{ kNm}$
Pro podélnou sílu	Pro podélnou sílu
$N_{H_L,Ed} = H_{L,d} = 3,568 \text{ kN}$	$M_{H_L,Ed} = 0,808 \text{ kNm}$

Tab. 6.13 Vnitřní síly

Kombinace zatížení – stálé + zatížení od jeřábu

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,dolní okraj}} = \frac{8,569}{1,262} = 6,790 \text{ MPa}$$

Napětí od svislého zatížení od kol jeřábu

$$\sigma_{x,Q_r,Ed} = \frac{M_{Q_r,y,Ed}}{W_{y,dolní okraj}} = \frac{100,593}{1,262} = 79,709 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovné podélné síly $H_{L,D}$

$$\sigma_{x,H_L,Ed} = \frac{N_{H_L,Ed}}{\chi * A} + \frac{M_{H_L,Ed}}{W_{y,dolní okraj}} = \frac{3,568}{0,628 * 11300} + \frac{0,808}{1,262} = 0,641 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,Q_r,Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed} = 6,790 + 79,709 + 0,641 = 87,140 \text{ MPa}$$

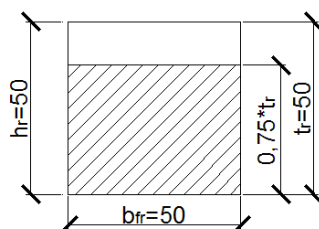
$$\sigma_{x,Ed} = 87,140 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhoví

6.2.1.5 Únosnost na příčné síly – EN 1993-1-5

Účinná roznášecí délka – EN 1993-6

Pro výpočet průřezových veličin bylo zohledněno opotřebení kolejnice redukcí výšky kolejnice o 25% tloušťky t_r .



Obr. 6.20 Opotřebení kolejnice

Výška opracování kolejnice

$$0,25 * t_r = 0,25 * 50 = 12,5 \text{ mm}$$

Efektivní šířka

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f = 50 + 37,5 + 17 = 102 \text{ mm} \leq b = 300 \text{ mm} \rightarrow b_{eff} = 102 \text{ mm}$$

Účinná roznášecí délka l_{eff}

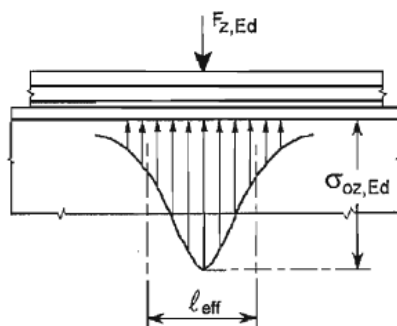
Pro kolejnici neposuvně připojenou k pásnici nosníku je účinná délka dána vztahem:

$$l_{eff} = 3,25 * \left[\frac{I_{rf}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6.7)$$

kde $I_{rf} [mm^4]$ je moment setrvačnosti průřezu složeného z kolejnice a pásnice o účinné šířce b_{eff}

Moment setrvačnosti

$$I_{rf} = 780550 \text{ mm}^4$$



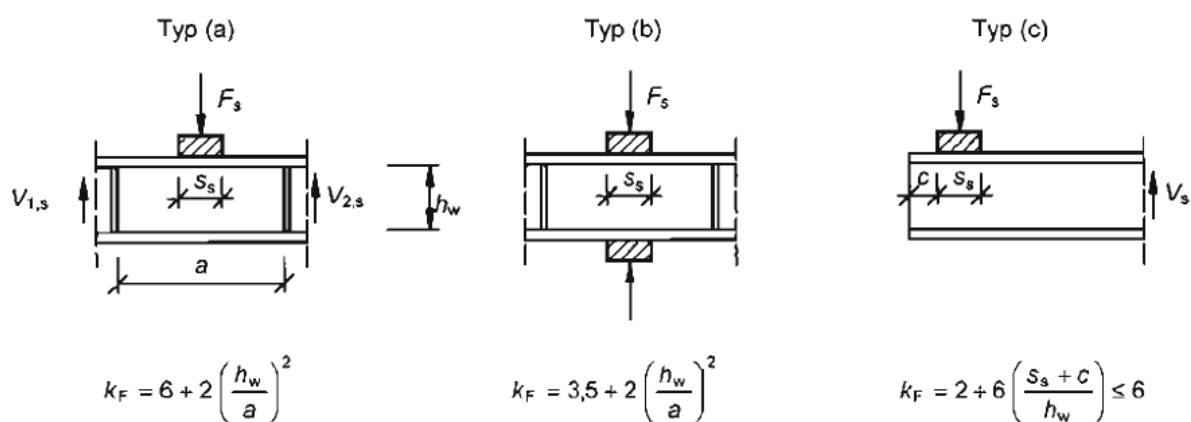
Obr. 6.21 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-6 - Roznášecí délka

Účinná roznášecí délka

$$l_{eff} = 3,25 * \left[\frac{l_{rf}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 * \left[\frac{780550}{8,5} \right]^{\frac{1}{3}} = 146,626 \text{ mm}$$

$$s_s = l_{eff} - 2 * t_f = 146,626 - 2 * 14 = 118,626 \text{ mm}$$

Účinná zatížitelná délka – EN 1993-1-5



Obr. 6.22 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-1-5 – Zatížení nosníku

Účinná zatížitelná délka pro zatížení typu A je dána vztahem:

$$l_y = s_s + 2 * t_f * (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \quad (6.8)$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w} = \frac{300}{8,5} = 35,294$$

$$m_2 = 0 \rightarrow \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

$$l_y = s_s + 2 * t_f * (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 118,626 + 2 * 14 * (1 + \sqrt{35,294 + 0}) = 312,971 \text{ mm}$$

Součinitel lokálního boulení χ_F – EN 1993-1-5

Součinitel lokálního boulení lze určit vzorcem:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F}$$

Kde:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_{yw}}{F_{cr}}}$$

Kritická síla

$$F_{cr} = 0,9 * k_F * E * \frac{t_w^3}{h_w}$$

Vzdálenost výztuh

$$a = 6000 \text{ mm}$$

Součinitel boulení pro typ zatížení A

$$k_F = 6 + 2 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 * \left(\frac{208}{6000}\right)^2 = 6,002$$

$$F_{cr} = 0,9 * k_F * E * \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 6,002 * 210 * \frac{8,5^3}{208} = 3349,504 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{312,971 * 8,5 * 235}{3349,504 * 10^3}} = 0,432 \leq 0,5 \rightarrow m_2 = 0$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,432} = 1,157 \leq 1,0 \rightarrow \chi_F = 1,0$$

Návrhová únosnost v lokálním boulení F_{Rd} – EN 1993-1-5

Účinná délka

$$L_{eff} = \chi_F * l_y = 1,0 * 312,971 = 312,971 \text{ mm}$$

Návrhová síla

$$F_{Ed} = Q_{r,d} = 53,501 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{\frac{f_{yw} * L_{eff} * t_w}{\gamma_{M1}}} = \frac{53,501}{\frac{235 * 312,971 * 8,5 * 10^{-3}}{1,0}} = 0,086 \leq 1,0$$

Vyhoví

6.2.1.6 Rovinné namáhání ve stěně nosníku

Postavení M_{max}

Svislé lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici – EN 1993-6

Návrhová síla

$$F_{Ed} = Q_{r,d} = 53,501 \text{ kN}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} * t_w} = \frac{53,501 * 10^3}{146,626 * 8,5} = 42,927 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} \cong 0,2 * \sigma_{oz,Ed} = 0,2 * 42,927 = 8,585 \text{ MPa}$$

Pro stálé zatížení	Pro postavení M_{max}	Pro podélnou sílu
$M_{g,y,Ed} = 8,569 \text{ kNm}$	$M_{Qr,y,Ed} = 100,593 \text{ kNm}$	$N_{HL,Ed} = H_{L,d} = 3,568 \text{ kN}$
Pro podélnou sílu	Pro příčnou sílu	Pro příčnou sílu
$M_{HL,Ed} = 0,755 \text{ kNm}$	$N_{HT,2,Ed} = 10,639 \text{ kN}$	$M_{HT,2,Ed} = 10,528 \text{ kNm}$

Tab. 6.14 Vnitřní síly

Návrhové normálové podélné napětí

Kombinace zatížení – stálé + zatížení od jeřábu

$$\sigma_{x,g,Ed} = \frac{M_{g,y,Ed}}{W_{y,w,horní\ okraj}} = \frac{8,569}{1,397} = 6,134 \text{ MPa}$$

Napětí od svislého zatížení od kol jeřábu

$$\sigma_{x,Qr,Ed} = \frac{M_{Qr,y,Ed}}{W_{y,w,horní\ okraj}} = \frac{100,593}{1,397} = 72,006 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovné podélné síly $H_{L,D}$

$$\sigma_{x,HL,Ed} = \frac{N_{HL,Ed}}{\chi * A} + \frac{M_{HL,y,Ed}}{W_{y,w,horní\ okraj}} = \frac{3,568}{0,628 * 11300} + \frac{0,755}{1,397} = 0,579 \text{ MPa}$$

Napětí od vodorovných příčných sil $H_{T,2}$

$$\sigma_{x,HT,2,Ed} = \frac{N_{HT,2,Ed}}{\chi_z * A_p} = \frac{10,639}{0,644 * 5283,750} = 3,127 * 10^{-3} \text{ MPa}$$

Návrhové smykové napětí

Statický moment

$$S_y = b * t_f * \left(c_{horní} - \frac{t_f}{2} \right) = 300 * 14 * \left(145 - \frac{14}{2} \right) = 579,600 * 10^3 \text{ mm}^3$$

kde $c_{horní} [mm]$ je vzdálenost od těžiště

Návrhová síla

$$V_{z,Ed} = 42,355 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_y}{I_y * t_w} = \frac{42,355 * 10^3 * 579,600 * 10^3}{183 * 10^6 * 8,5} = 15,782 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{x,g,Ed} + \sigma_{x,H_L,Ed} + \sigma_{x,H_{T,2},Ed} + \sigma_{x,Q_r,Ed} = 6,134 + 72,006 + 0,579 + 3,127 = \\ &= 81,846 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 42,927 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = 15,782 + 8,585 = 24,367 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}}{\gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}}{\gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}}{\gamma_{M0}} \right) * \left(\frac{\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}}{\gamma_{M0}} \right) + 3 * \left(\frac{\frac{\tau_{Ed}}{f_y}}{\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1,0 \\ &\left(\frac{\frac{81,846}{235}}{1,0} \right)^2 + \left(\frac{\frac{42,927}{235}}{1,0} \right)^2 - \left(\frac{\frac{81,846}{235}}{1,0} \right) * \left(\frac{\frac{42,927}{235}}{1,0} \right) + 3 * \left(\frac{\frac{24,367}{235}}{1,0} \right)^2 = 0,123 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Vyhoví

Postavení A_{max}

Svislé lokální napětí od kolových zatížení na horní pásnici – EN 1993-6

Návrhová síla

$$F_{Ed} = Q_{r,d} = 53,501 \text{ kN}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} * t_w} = \frac{53,501 * 10^3}{146,626 * 8,5} = 42,927 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} \cong 0,2 * \sigma_{oz,Ed} = 0,2 * 42,927 = 8,585 \text{ MPa}$$

Návrhové smykové napětí

$$V_{z,Ed} = 84,710 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_y}{I_y * t_w} = \frac{84,710 * 10^3 * 579,600 * 10^3}{183 * 10^6 * 8,5} = 31,564 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

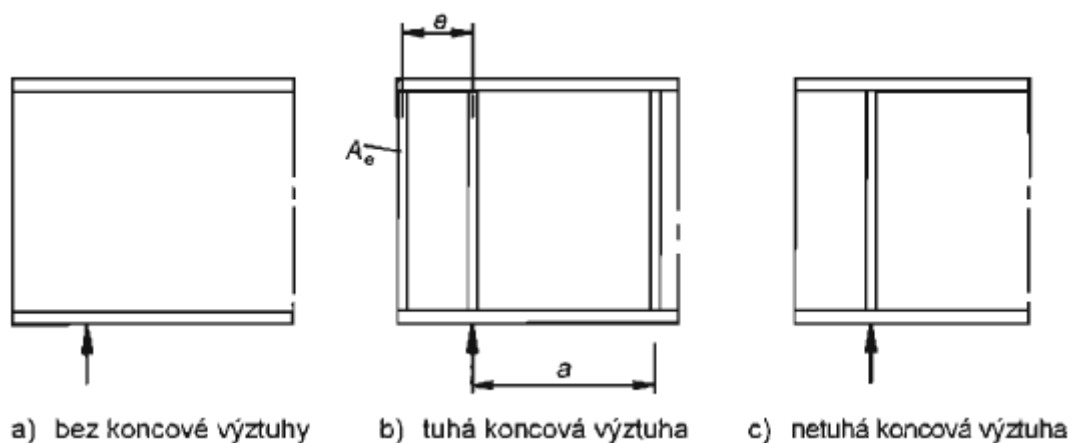
$$\sigma_{z,Ed} = 42,927 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = 8,585 + 31,564 = 40,149 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right) * \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right) + 3 * \left(\frac{\tau_{Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 \leq 1,0$$
$$\left(\frac{0}{\frac{235}{1,0}} \right)^2 + \left(\frac{42,927}{\frac{235}{1,0}} \right)^2 - \left(\frac{0}{\frac{235}{1,0}} \right) * \left(\frac{42,927}{\frac{235}{1,0}} \right) + 3 * \left(\frac{40,149}{\frac{235}{1,0}} \right)^2 = 0,121 \leq 1,0$$

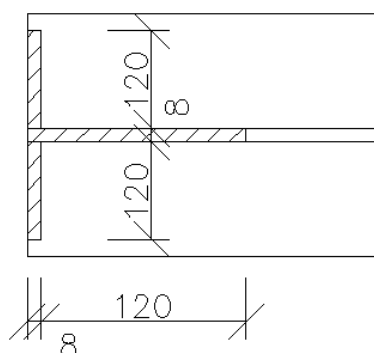
Vyhoví

6.2.1.7 Příčné výztuhy – EN 1993-1-5



Obr. 6.23 Ilustrativní obrázek ČSN EN 1993-1-5 - Koncové podpory

Koncová příčná výztuha (netuhá)



Obr. 6.24 Koncová výztuha

Plocha výztuhy

$$A = (8 + 120) * 8,5 + 2 * 120 * 8 = 3008 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_{st} = \frac{1}{12} * (120 * 8,5^3 + 8 * 248,5^3) = 10,236 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Poloměr setrvačnosti

$$i_{st} = \sqrt{\frac{I_{st}}{A}} = \sqrt{\frac{10,236 * 10^6}{3008}} = 58,336$$

Posouzení tuhosti výztuhy

$$\frac{a}{h_w} = \frac{6000}{208} = 28,846 \geq \sqrt{2} = 1,414$$

$$I_{st} = 11,482 * 10^6 \text{ mm}^4 \geq 0,75 * h_w * t_w^3 = 0,75 * 208 * 8,5^3 = 95,8034 * 10^3 \text{ mm}^4$$

Vyhoví

Posouzení únosnosti výztuhy

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,75 * h_w = 0,75 * 208 = 156 \text{ mm}$$

Kritická štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{st}} = \frac{156}{58,336} = 2,674$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{2,74}{93,9} = 0,029 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru lze zanedbat}$$

Návrhová únosnost v tlaku

$$N_{b,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{3008 * 235}{1,0} = 706,880 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{84,710}{706,880} = 0,119 \leq 1,0$$

Vyhoví

6.2.2 Mezní stav použitelnosti EN – 1993-6

Svislý průhyb

Mezní hodnota svislého průhybu je dána jako:

$$f_{lim} = \frac{L}{600} \leq 25 \text{ mm}$$

Průhyb od stálého zatížení

$$f_g = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{EI_y} = \frac{5}{384} * \frac{(0,196 + 0,883) * 6,0^4}{183 * 10^6 * 210} * 10^9 = 0,474 \text{ mm}$$

Průhyb od pohyblivého zatížení

$$Q_{r,k} = 39,630 \text{ kN}$$

$$f_{Q_r} = 2 * Q_{r,k} * \eta * \frac{L^3}{EI_y} = 2 * 39,630 * \frac{1}{48} * \frac{6,0^3}{183 * 10^6 * 210} * 10^9 = 7,546 \text{ mm}$$

$$f_{Q_r} = \frac{F}{24 * l * EI} * (3 * a * l^2 - 4 * a^3) = \frac{39,630 * (3 * 1,75 * 6,0^2 - 4 * 6,0^3) * 10^9}{24 * 6,0 * 210 * 183 * 10^6 * 210} =$$
$$= 7,199 \text{ mm}$$

$$f = f_{Q_r} + f_g = 0,474 + 7,546 = 8,020 \text{ mm}$$

$$f = 8,020 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{6000}{600} = 10 \text{ mm}$$

Vyhoví

Vodorovný průhyb

Mezní hodnota vodorovného průhybu měřeného v úrovni horní plochy je dána normou jako:

$$f_{lim} = \frac{L}{600}$$

$$H_{T,2,k} = 7,881 \text{ kN}$$

$$\zeta_1 = \zeta_2 = \frac{z}{L} = \frac{3000}{6000} = 0,5$$

$$\eta_1 = \eta_2 = \frac{1}{48}$$

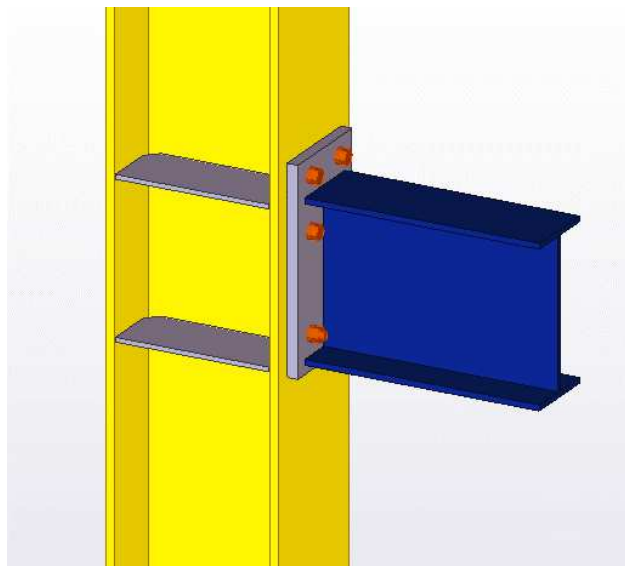
$$f = H_{T,2,k} * \eta * \frac{L^3}{EI_z} = 7,881 * \frac{1}{48} * \frac{6,0^3}{63,100 * 210 * 10^6} * 10^9 = 2,676 \text{ mm}$$

$$f = 2,676 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{6000}{600} = 10 \text{ mm}$$

Vyhoví

7 Konzola

Konzola tvoří nosnou konstrukci pro hlavní nosník jeřábové dráhy, kolejnici a jeřáb. Konzola byla navržena z válcovaného profilu **IPE360** oceli třídy S235. Vyložení konzoly je 0,75 m od osy sloupu ve výšce 4,350 m od úrovně podlahy.



Obr. 7.1 Vizualizace konzoly pro jeřábovou dráhu

IPE360			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 360 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 170 \text{ mm}$		$I_y = 1.63\text{E}+8 \text{ mm}^4$	$I_z = 1.04\text{E}+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 12.7 \text{ mm}$		$W_{yI} = 9.04\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{zI} = 1.23\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 8 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 1.02\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 1.91\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 18 \text{ mm}$		$i_y = 150 \text{ mm}$	$i_z = 37.9 \text{ mm}$
$y_s = 85 \text{ mm}$		$S_y = 5.10\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 9.55\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 298.6 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 7270 \text{ mm}^2$		$I_w = 3.14\text{E}+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 3.80\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.35 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 57.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 42.6 \text{ mm}$	$i_{pc} = 154 \text{ mm}$

Tab. 7.1 Průřezové charakteristiky profilu IPE360

7.1 Mezní stav únosnosti

Zatřídění průřezu

Tlak

$$\frac{c}{t_w} = \frac{298,6}{9,0} = 37,325 \leq 38 * \varepsilon = 38 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 38 \rightarrow \text{průřez 2. třídy}$$

Ohyb

$$\frac{c}{t_w} = \frac{298,6}{9,0} = 37,325 \leq 72 * \varepsilon = 72 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

7.1.1 Namáhání smykem - EN 1993-1-1

Plocha stojiny

$$A_w = h_w * t_w = 298,6 * 8 = 2388,8 \text{ mm}^2$$

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = F_k * 1,35 = 70,656 * 1,35 = 95,386 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{2388,8 * 235}{1 * \sqrt{3}} = 324,110 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{95,386}{324,110} = 0,294 \leq 1,0$$

Vyhoví

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{95,386}{324,110} = 0,294 \leq 0,5$$

Malý smyk → bez redukce únosnosti v ohybu

7.1.2 Namáhání ohybem - EN 1993-1-1

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 95,386 * 0,75 + 0,571 * 1,35 * \frac{0,75^2}{2} = 71,756 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,020 * 235}{1,0} = 239,700 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{71,756}{239,700} = 0,299 \leq 1,0$$

Vyhoví

7.2 Mezní stav použitelnosti

$$F_k = F_{j\acute{e}r\acute{a}b,k} + F_{kolejnice} + F_{HEA300,k} = 62,748 + 0,196 * 6,0 + 0,883 * 6,0 = 69,222 \text{ kN}$$

$$q_{vl.ti\acute{h}a,k} = 0,571 \text{ kN/m}$$

$$f_1 = \frac{q_{vl.ti\acute{h}a,k} * l^4}{8 * EI} = \frac{0,571 * 0,75^4}{8 * 34230} * 1000 = 0,001 \text{ mm}$$

$$f_2 = \frac{F_k * l^3}{3 * EI} = \frac{69,222 * 0,75^3}{3 * 34230} * 1000 = 0,284 \text{ mm}$$

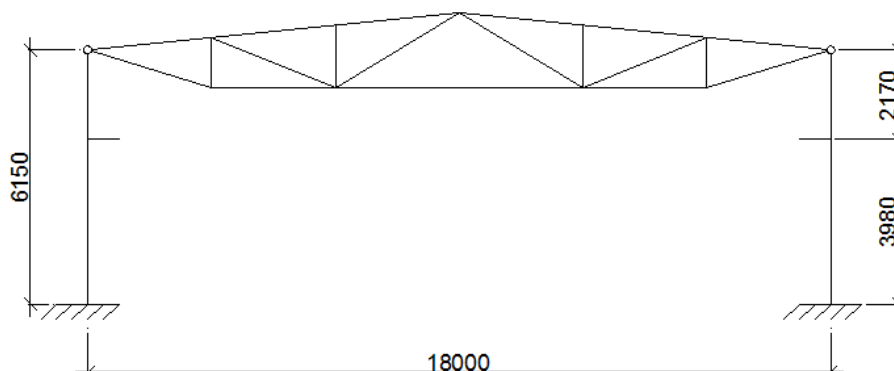
$$f_{celk} = f_1 + f_2 = 0,001 + 0,284 = 0,285 \text{ mm}$$

$$f_{celk} = 0,285 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{750}{600} = 1,25 \text{ mm}$$

Vyhoví

8 Zatěžovací stavy příčné vazby

8.1 Statické schéma příčné vazby



Obr. 8.1 Příčná vazba

Pro zohlednění rámových imperfekcí se zavede počáteční natočení sloupu $\varphi = \frac{1}{200} \text{ rad}$ to je nahrazeno vodorovnou silou $H\varphi = \varphi \sum F$

8.2 Zatížení stálé

Odhad vlastní tíhy vazníku

$$g_k = \frac{L}{76} * \sqrt{(s_{k,1} + g_{st,plášť}) * d} = \frac{18}{76} * \sqrt{(0,8 + 0,186) * 6,0} = 0,576 \text{ kN/m}$$

Síly do uzlů vazníku

Vnitřní uzly

- plášť $F_{1,a} = g_{st,plášť} * b * L = 0,186 * 3,0 * 6,0 = 3,348 \text{ kN}$

- vlastní tíha $F_{1,b} = g_k * b = 0,576 * 3,0 = 1,728 \text{ kN}$

$$F_1 = F_{1,a} + F_{1,b} = 3,348 + 1,728 = 5,076 \text{ kN}$$

Vnější uzly

- plášť $F_{2,a} = g_{st,plášť} * \left(\frac{b}{2} + 0,4\right) * L = 0,186 * \left(\frac{3,0}{2} + 0,4\right) * 6,0 = 2,120 \text{ kN}$

- vlastní tíha $F_{2,b} = g_k * \frac{b}{2} = 0,576 * \frac{3,0}{2} = 0,864 \text{ kN}$

$$F_2 = F_{2,a} + F_{2,b} = 2,120 + 0,864 = 2,984 \text{ kN}$$

Zatížení do sloupů

- plášť $g_{k,1} = g_{obv,plášť} * b = 0,193 * 6,0 = 1,158 \text{ kN/m}$

- vlastní tíha $g_{HEA400} = 0,125 \text{ kN/m}$

$$g_k = g_{k,1} + g_{HEA400} = 1,158 + 0,125 = 1,283 \text{ kN/m}$$

$$q_{vl.tiha,konzola} = 0,571 \text{ kN/m}$$

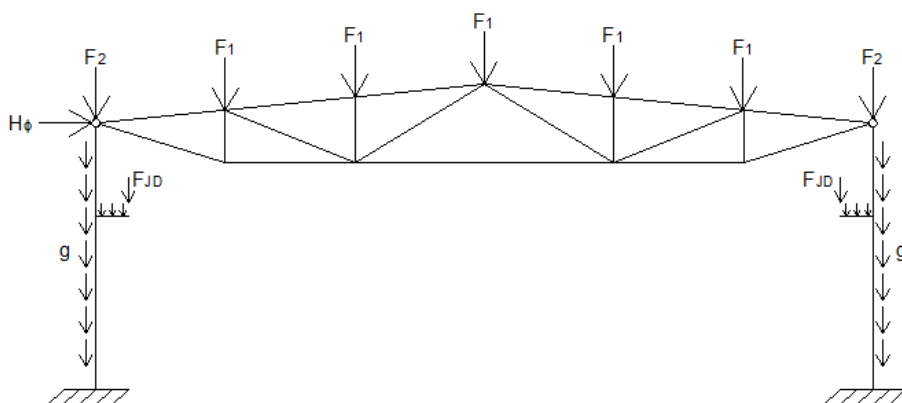
$$F_{kolejnice} = 0,196 * 6,0 = 1,176 \text{ kN/m}$$

$$F_{HEA300,k} = 0,833 * 6,0 = 4,998 \text{ kN/m}$$

Vliv rámových imperfekcí

$$H_\phi = \left(\frac{1}{200} \right) * (5 * F_1 + 2 * F_2 + 2 * g_k * h) =$$

$$= \frac{5 * 5,076 + 2 * (2,894 + 1,283 * 6,150 + 0,517 * 0,75 + 1,176 + 4,998)}{200} = 0,304 \text{ kN}$$



Obr. 8.2 Stálé zatížení

8.3 Zatížení sněhem po celé délce

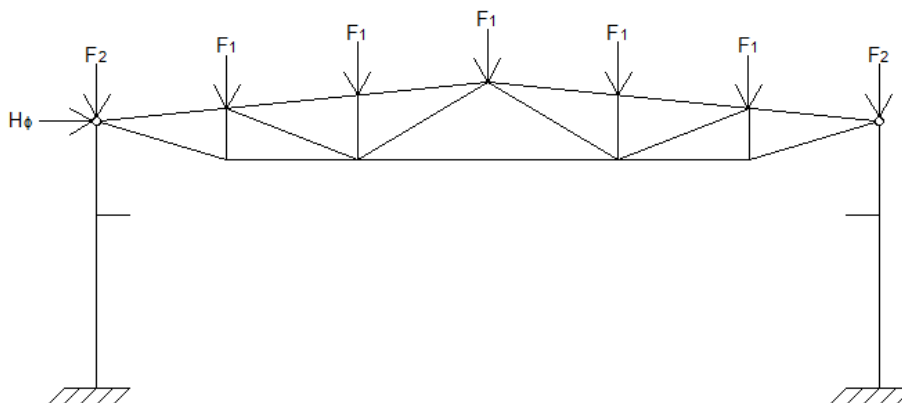
Síly do uzlů vazníku

- vnitřní uzly $F_{1,k} = s_{k,1} * b * L = 0,8 * 3,0 * 6,0 = 14,400 \text{ kN}$

- vnější uzly $F_{2,k} = s_{k,1} * \left(\frac{b}{2} + 0,4 \right) * L = 0,8 * \left(\frac{3,0}{2} + 0,4 \right) * 6,0 = 9,120 \text{ kN}$

Vliv rámových imperfekcí

$$H_{\phi} = \left(\frac{1}{200} \right) * (5 * F_{1,k} + 2 * F_{2,k}) = \frac{5 * 14,400 + 2 * 9,120}{200} = 0,451 \text{ kN}$$



Obr. 8.3 Zatížení sněhem po celé délce

8.4 Zatížení sněhem vlevo

Síly do uzlů vazníku

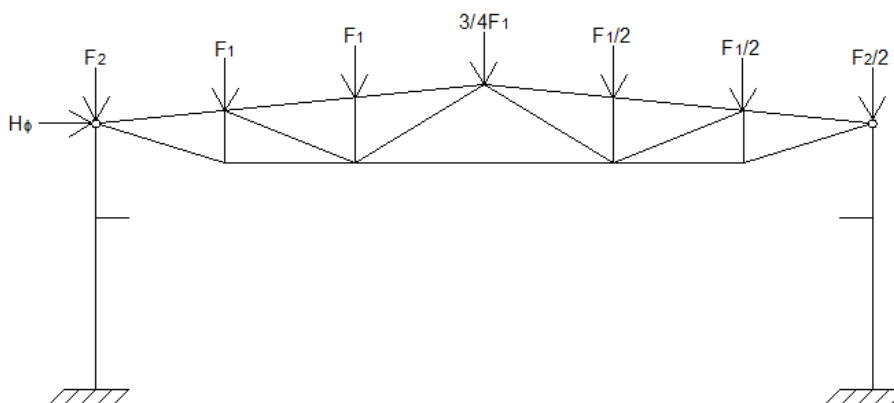
- vnitřní uzly $F_{1,k} = 14,400 \text{ kN}$

- vnější uzly $F_{2,k} = 9,120 \text{ kN}$

Vliv rámových imperfekcí

$$H_{\phi} = \left(\frac{1}{200} \right) * \left(2 * F_{1,k} + \frac{3}{4} * F_{1,k} + 2 * \frac{1}{2} * F_{1,k} + F_{2,k} + \frac{1}{2} * F_{2,k} \right) =$$

$$= \frac{2 * 14,400 + \frac{3}{4} * 14,400 + 2 * \frac{1}{2} * 14,400 + 9,120 + \frac{1}{2} * 9,120}{200} = 67,680 \text{ kN}$$



Obr. 8.4 Zatížení sněhem vlevo

8.5 Zatížení sněhem vpravo

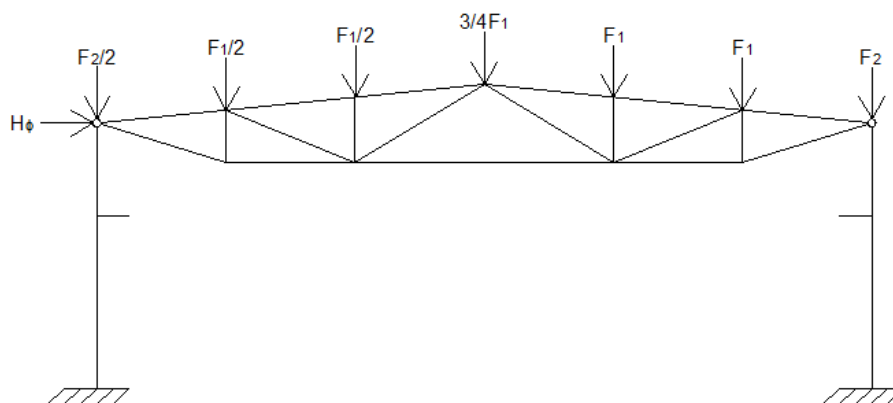
Síly do uzlů vazníku

- vnitřní uzly $F_{1,k} = 14,400 \text{ kN}$

- vnější uzly $F_{2,k} = 9,120 \text{ kN}$

Vliv rámových imperfekcí

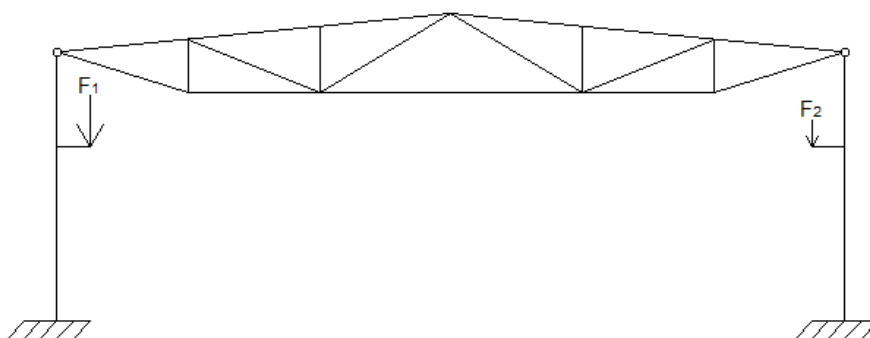
$$H_{\phi} = 67,680 \text{ kN}$$



Obr. 8.5 Zatížení sněhem vpravo

8.6 Jeřáb vlevo

Svislé zatížení od jeřábu bylo uvažováno v poloze vyvolávající na příčnou vazbu největší posouvající sílu na jedné větvi jeřábové dráhy a doprovodné zatížení ve stejné poloze na druhé větvi jeřábové dráhy.



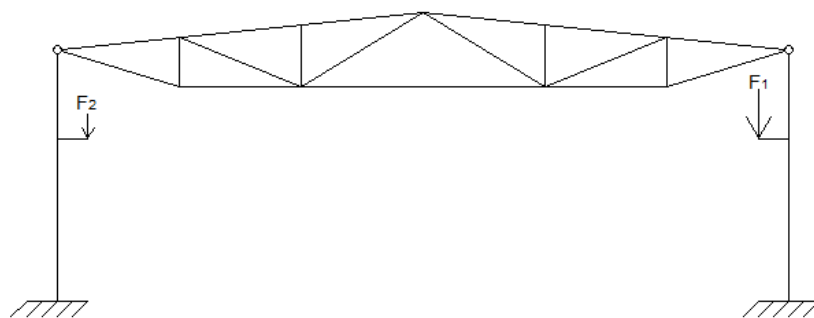
Obr. 8.6 Zatížení jeřábem vlevo

$$Q_{r,k} = 39,630 \text{ kN (skupina zatížení 1)}$$

$$F_1 = \frac{Q_{r,k} * 6,0 + Q_{r,k} * 3,5}{6,0} = \frac{39,630 * 6,0 + 39,630 * 3,5}{6,0} = 62,748 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2 * Q_{r,k} - R_a = 2 * 39,630 - 62,748 = 16,513 \text{ kN}$$

8.7 Jeřáb vpravo

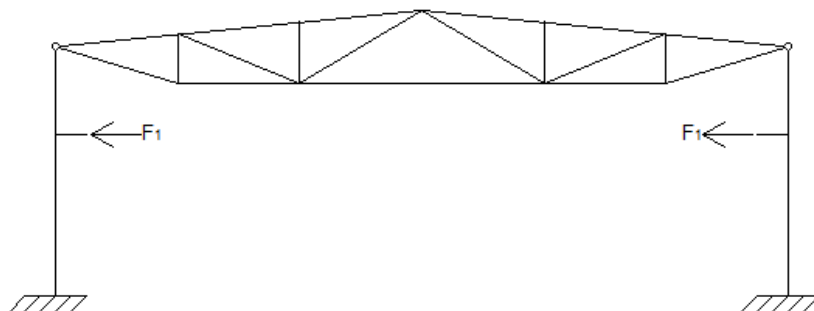


Obr. 8.7 Zatížení jeřábem vpravo

$$F_1 = 62,748 \text{ kN}$$

$$F_2 = 16,513 \text{ kN}$$

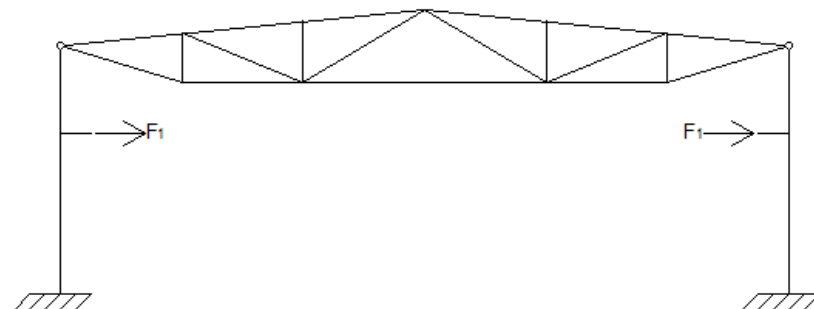
8.8 Příčení jeřábu 1



Obr. 8.8 Zatížení příčením jeřábu 1

$$F_1 = H_{S,2,T,k} = 9,019 \text{ kN}$$

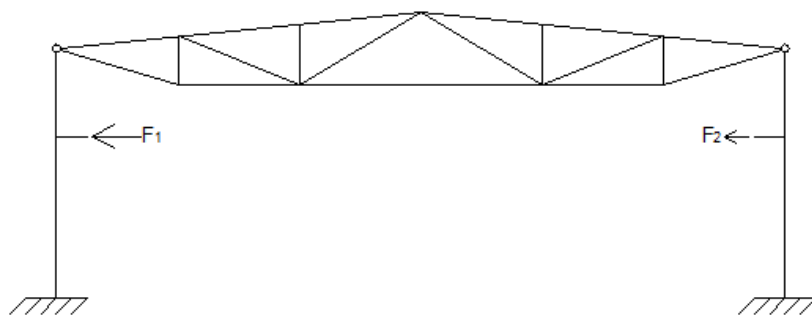
8.9 Příčení jeřábu 2



Obr. 8.9 Zatížení příčením jeřábu 2

$$F_1 = 9,019 \text{ kN}$$

8.10 Zrychlení nebo zpomalení kočky 1

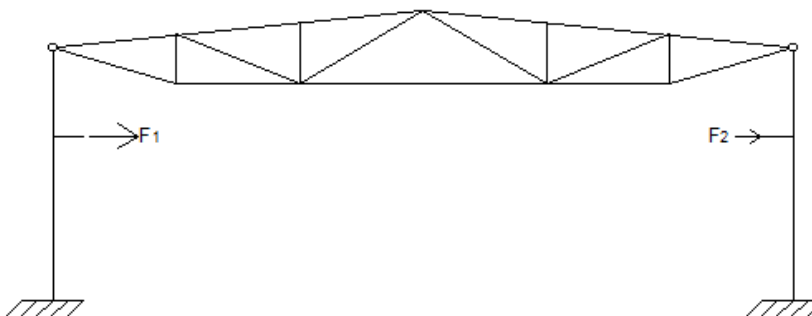


Obr. 8.10 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 1

$$F_1 = H_{T3,1,k} = 2,662 \text{ kN}$$

$$F_2 = H_{T3,2,k} = 0,086 \text{ kN}$$

8.11 Zrychlení nebo zpomalení kočky 2

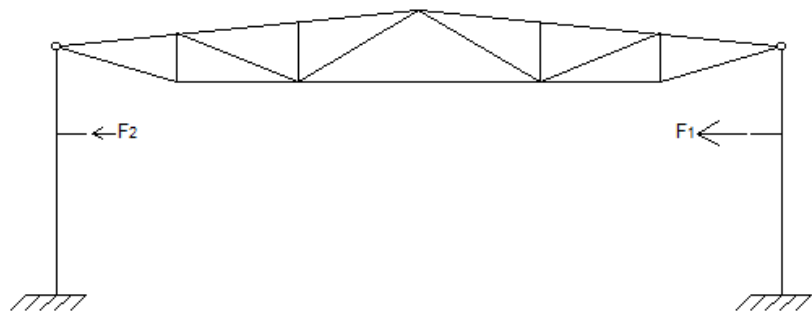


Obr. 8.11 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 2

$$F_1 = 2,662 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,086 \text{ kN}$$

8.12 Zrychlení nebo zpomalení kočky 3

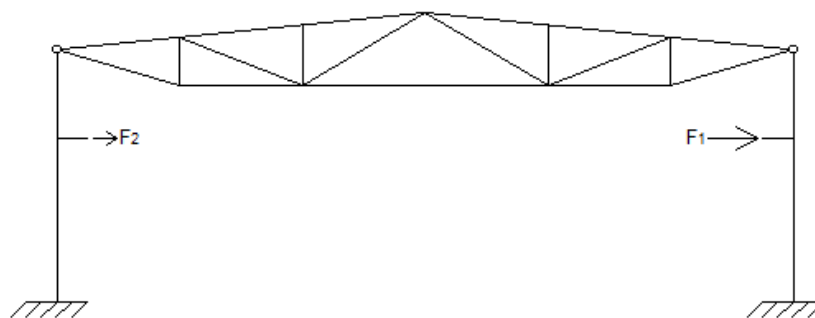


Obr. 8.12 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 3

$$F_1 = 2,662 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,086 \text{ kN}$$

8.13 Zrychlení nebo zpomalení kočky 4

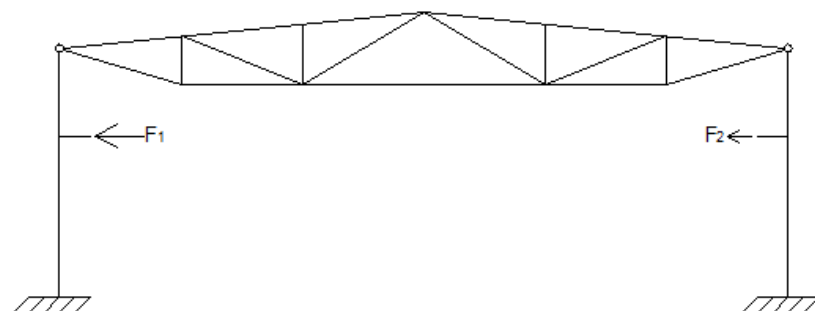


Obr. 8.13 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky 4

$$F_1 = 2,662 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,086 \text{ kN}$$

8.14 Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 1

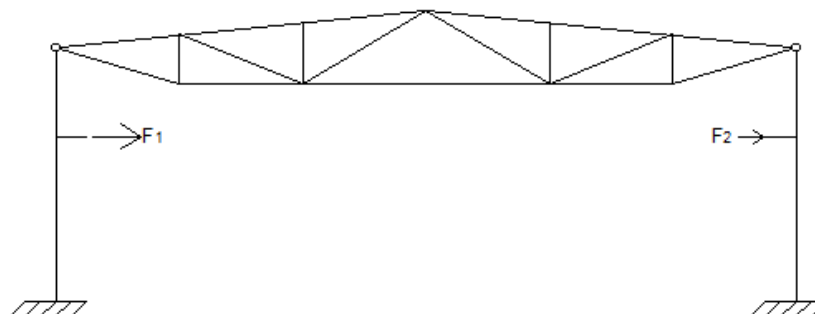


Obr. 8.14 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 1

$$F_1 = H_{T,1,k} = 2,133 \text{ kN}$$

$$F_2 = H_{T,2,k} = 7,881 \text{ kN}$$

8.15 Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 2

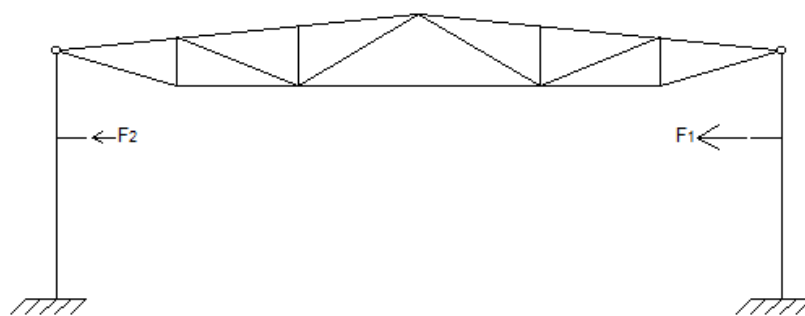


Obr. 8.15 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 2

$$F_1 = 2,133 \text{ kN}$$

$$F_2 = 7,881 \text{ kN}$$

8.16 Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 3

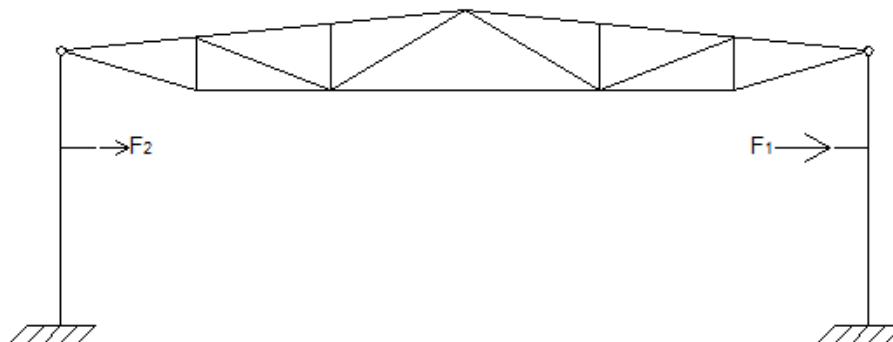


Obr. 8.16 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 3

$$F_1 = 2,133 \text{ kN}$$

$$F_2 = 7,881 \text{ kN}$$

8.17 Zrychlení a zpomalení mostového jeřábu 4

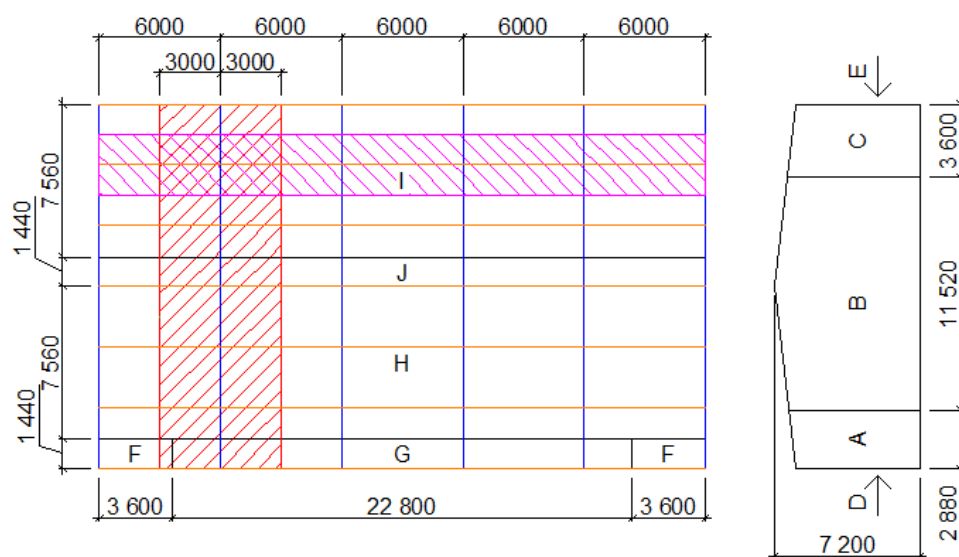


Obr. 8.17 Zatížení od zrychlení nebo zpomalení mostového jeřábu 4

$$F_1 = 2,133 \text{ kN}$$

$$F_2 = 7,881 \text{ kN}$$

8.18 Příčný vítr



Obr. 8.18 Rozmístění oblastí pro příčný vítr

$$w_k^D = 0,60 * 6,0 = 3,600 \text{ kN/m}$$

$$w_k^E = -0,32 * 6,0 = -1,920 \text{ kN/m}$$

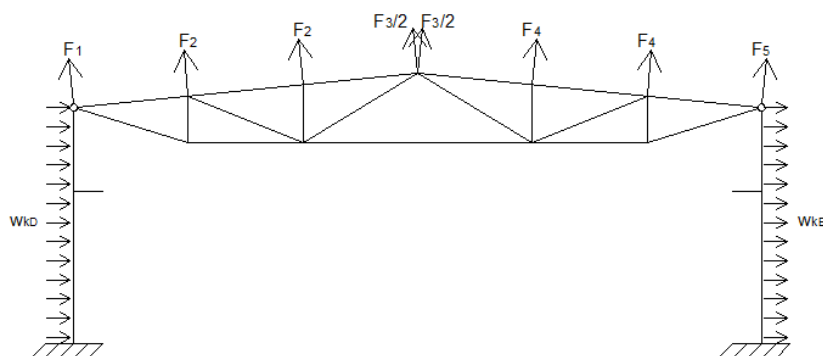
$$\begin{aligned} F_1 &= (w_k^F * 0,6 + w_k^G * 5,4) * 1,84 + w_k^H * 6,0 * 0,06 = \\ &= (-1,06 * 0,6 - 0,79 * 5,4) * 1,84 - 0,45 * 6,0 * 0,06 = -9,182 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_2 = w_k^H * 3,0 * 6,0 = -0,45 * 3,0 * 6,0 = -8,100 \text{ kN}$$

$$F_3 = w_k^H * 1,5 * 6,0 = -0,45 * 1,5 * 6,0 = -4,820 \text{ kN}$$

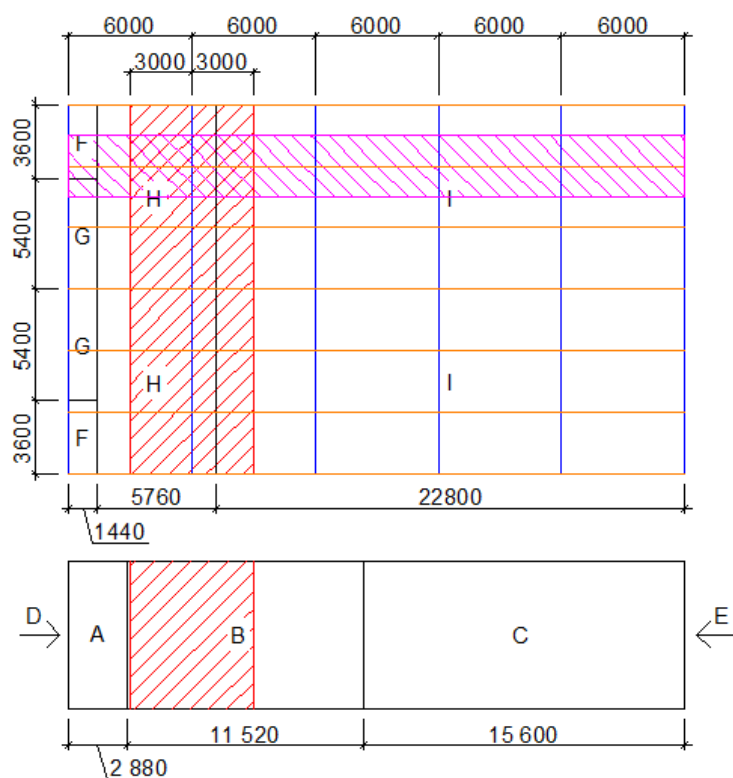
$$F_4 = w_k^I * 3,0 * 6,0 = -0,46 * 3,0 * 6,0 = -8,280 \text{ kN}$$

$$F_5 = w_k^I * 1,5 * 6,0 = -0,46 * 1,9 * 6,0 = -5,244 \text{ kN}$$



Obr. 8.19 Zatížení příčným větrem

8.19 Podélný vítr

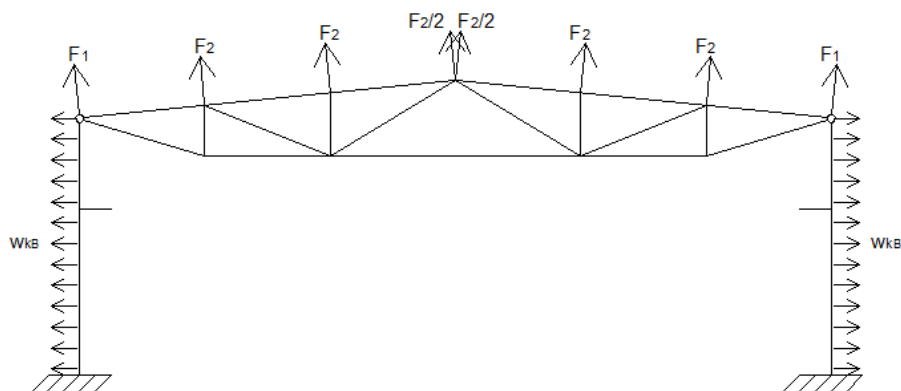


Obr. 8.20 Rozmístění oblastí pro podélný vítr

$$w_k^B = -0,58 * 6,0 = -3,480 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = (w_k^H * 4,20 + w_k^I * 1,8) * 1,9 = (-0,52 * 4,20 - 0,46 * 1,8) * 1,9 = -5,723 \text{ kN}$$

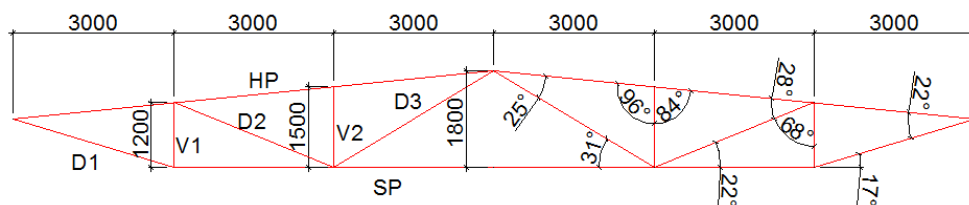
$$F_2 = (w_k^H * 4,20 + w_k^I * 1,8) * 3,0 = (-0,52 * 4,20 - 0,46 * 1,8) * 3,0 = -9,036 \text{ kN}$$



Obr. 8.21 Zatížení podélným větrem

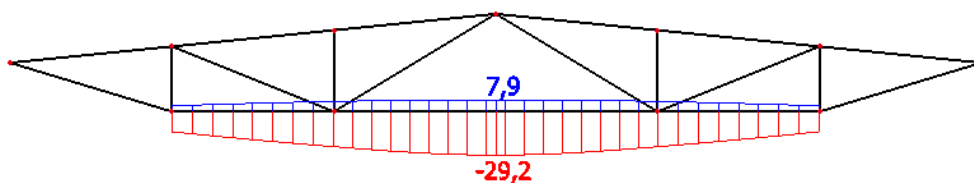
9 Vazník

Horní pás byl navrhnut z válcovaného profilu **HE180A**. Diagonály, svislice a spodní pás z trubek **114,3x6,3** a **42,4x4**. V úrovních svislic V2 jsou podélná svislá ztužidla bránící vazníku vybočit z roviny, jako ztužující prvek je bráno střešní opláštění, které je přímo ukotveno na horní pás vazníku.



Obr. 9.1 Geometrie vazníku

9.1 Mezní stav použitelnosti



Obr. 9.2 Maximální posun u_z

$$f_{celk} = 29,2 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

Vyhoví

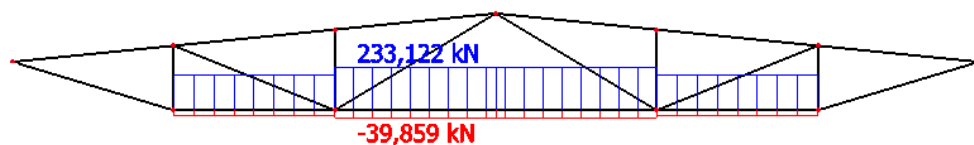
9.2 Mezní stav únosnosti

Vzpěrné délky

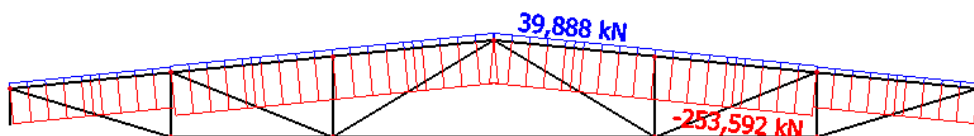
Dolní pás	z roviny	vzdálenost svislého ztužení
Horní pás	v rovině	90% vzdálenosti styčníků
	z roviny	
Vnitřní pruty	v rovině	75% L_{teor}
	z roviny	

Tab. 9.1 Vzpěrné délky prutů

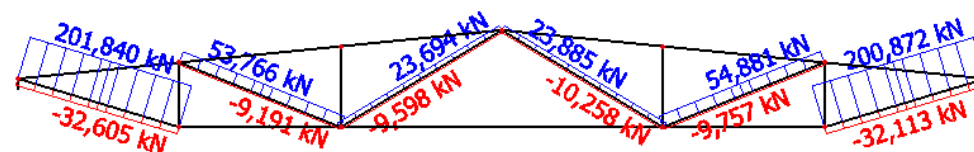
Průběhy normálových sil



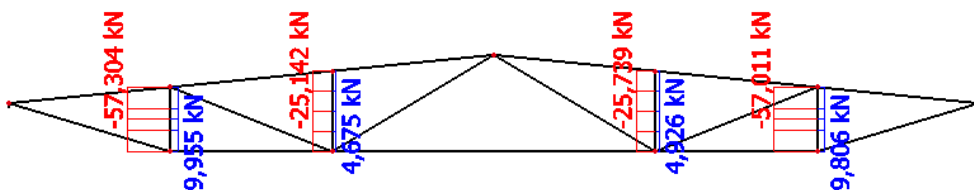
Obr. 9.3 Průběhy normálových sil - spodní pás



Obr. 9.4 Průběhy normálových sil - horní pás



Obr. 9.5 Průběhy normálových sil - diagonály



Obr. 9.6 Průběhy normálových sil - svislice

Rekapitulace sil a návrh profilů

Prut	$N_{c,Ed}$ [kN]	$N_{t,Ed}$ [kN]	Profil	A [mm ²]	I [mm ⁴]	i [mm]	L [mm]
SP	39,859	233,122	TR 114x6,3	2131,602	3,101E+06	38,143	6000
HP	253,592	39,859	HEA 180	4525,142	2,510E+07	74,481	6000
D1	32,605	201,84	TR 114x6,3	2131,602	3,101E+06	38,143	3132
D2	9,757	54,881	TR 42,4x4	482,549	8,991E+04	13,650	3231
D3	10,258	23,885	TR 42,4x4	482,549	8,991E+04	13,650	3499
V1	57,304	9,955	TR 42,4x4	482,549	8,991E+04	13,650	1200
V2	25,739	4,926	TR 42,4x4	482,549	8,991E+04	13,650	1500

Tab. 9.2 Hodnoty normálových sil a navržené profily, průřezové charakteristiky profilů

9.3 Tah - EN 1993-1-1

Prut	$N_{t,Rd}$ [kN]	$N_{t,Ed}$ [kN]	$N_{t,Rd} \geq N_{t,Ed}$	Využití průřezu
SP	500,926	233,122	Vyhoví	46,54%
HP	1063,408	39,859	Vyhoví	3,75%
D1	500,926	201,84	Vyhoví	40,29%
D2	113,399	54,881	Vyhoví	48,40%
D3	113,399	23,885	Vyhoví	21,06%
V1	113,399	9,955	Vyhoví	8,78%
V2	113,399	4,926	Vyhoví	4,34%

Tab. 9.3 Posudek vazníku - tah

9.4 Tlak - EN 1993-1-1

Prut	L_{cr}/L	L_{cr} [mm]	λ [-]	λ_1 [-]	$\bar{\lambda}$ [-]	α [-]	Φ [-]	χ [-]
SP	1	6000	157,304	93,9	1,675	0,21	2,058	0,307
HP	0,9	5400	72,502	93,9	0,772	0,21	0,858	0,811
D1	0,75	2349	61,584	93,9	0,656	0,21	0,763	0,868
D2	0,75	2423,3	177,529	93,9	1,891	0,21	2,465	0,247
D3	0,75	2624,3	192,254	93,9	2,047	0,21	2,790	0,213
V1	0,75	900	65,935	93,9	0,702	0,21	0,799	0,847
V2	0,75	1125	82,418	93,9	0,878	0,21	0,956	0,748

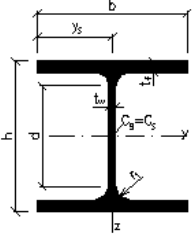
Tab. 9.4 Posudek vazníku - tlak

Prut	$N_{c,Rd}$ [kN]	$N_{c,Ed}$ [kN]	$\lambda < 200$	Využití průřezu
SP	153,959	39,859	Vyhoví	25,89%
HP	862,684	253,592	Vyhoví	29,40%
D1	434,562	32,605	Vyhoví	7,50%
D2	28,027	9,757	Vyhoví	34,81%
D3	24,204	10,258	Vyhoví	42,38%
V1	96,017	57,304	Vyhoví	59,68%
V2	84,871	25,739	Vyhoví	30,33%

Tab. 9.5 Posudek vazníku - tlak

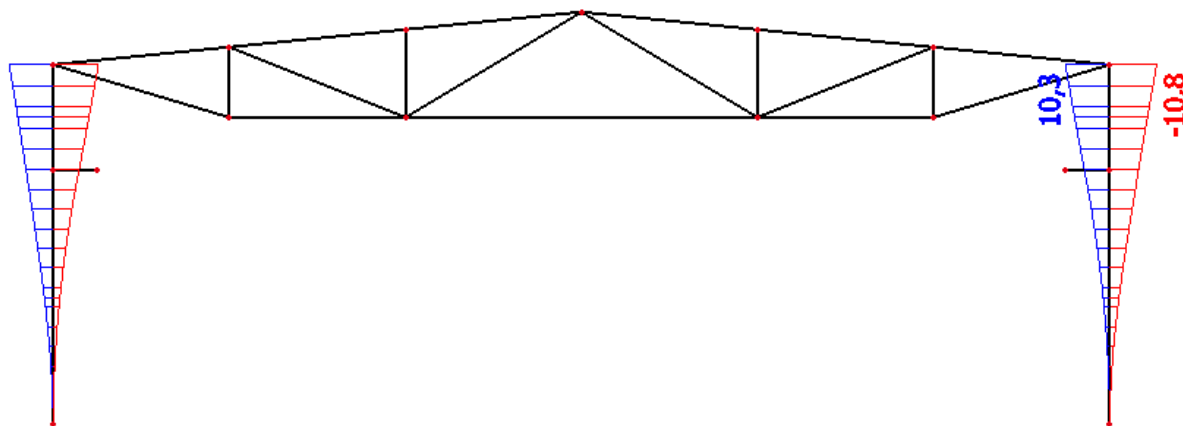
10 Sloup

Sloup byl navržen jako vetknutý v příčném směru s kloubovým uložením příhradového vazníku ve výšce 6,15 m. Sloup byl navržen z válcovaného profilu **HE400A** oceli třídy S235.

HE400A			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 390 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 300 \text{ mm}$		$I_y = 4.51\text{E}+8 \text{ mm}^4$	$I_z = 8.56\text{E}+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 19 \text{ mm}$		$W_{yI} = 2.31\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$W_{zI} = 5.71\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 11 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 2.56\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 8.73\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$r_l = 27 \text{ mm}$		$i_y = 168.4 \text{ mm}$	$i_z = 73.4 \text{ mm}$
$y_s = 150 \text{ mm}$		$S_y = 1.28\text{E}+6 \text{ mm}^3$	$S_z = 4.36\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$d = 298 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 15900 \text{ mm}^2$		$I_w = 2.94\text{E}+12 \text{ mm}^6$	$It = 1.89\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.91 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 125 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 74.06 \text{ mm}$	$i_{pc} = 183.7 \text{ mm}$

Tab. 10.1 Průřezové charakteristiky profilu HE400A

10.1 Mezní stav použitelnosti

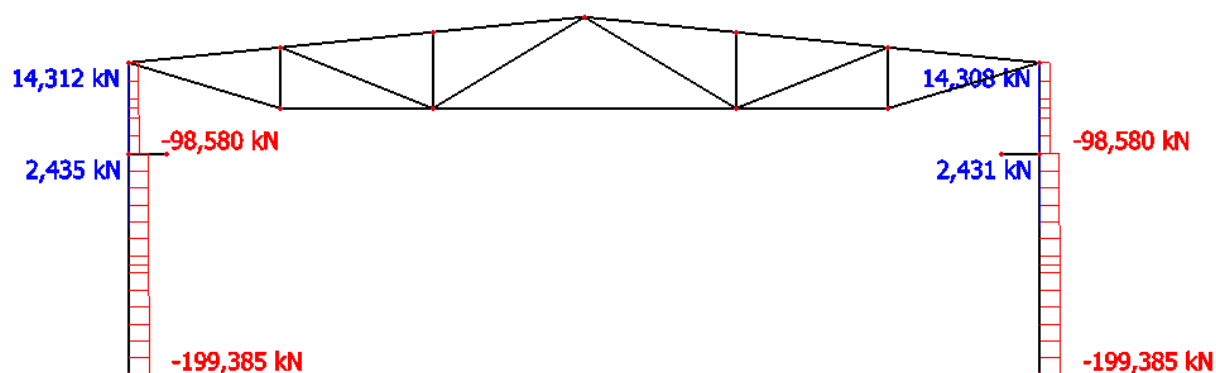


Obr. 10.1 Maximální posun u_x

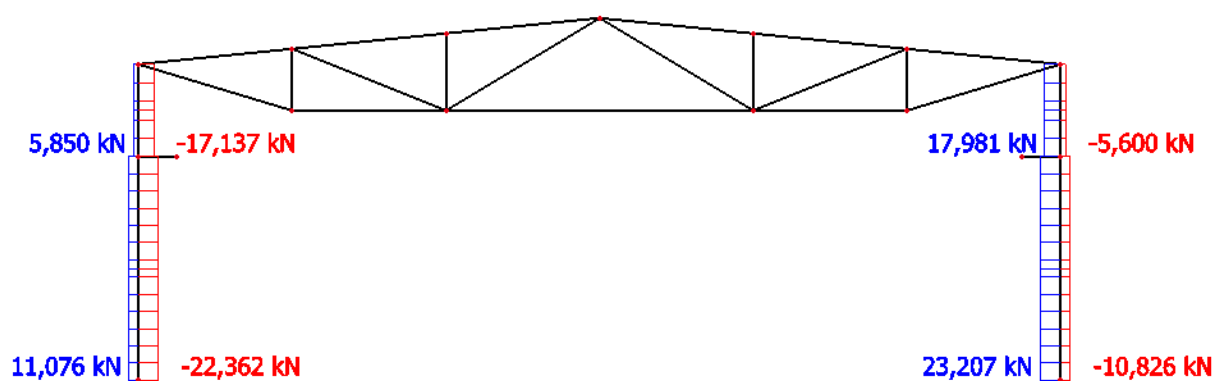
$$f_{celk} = 10,8 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{6150}{150} = 41 \text{ mm}$$

Vyhoví

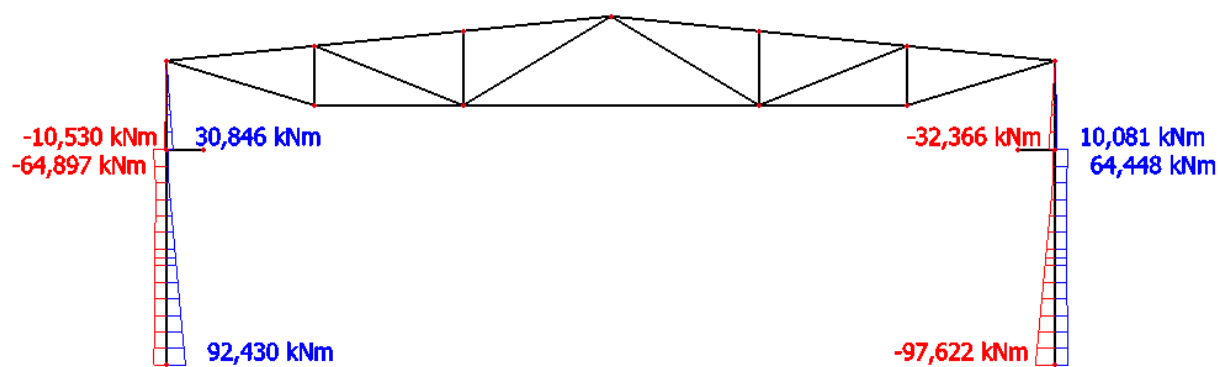
10.2 Mezní stav únosnosti



Obr. 10.2 Průběhy normálových sil na sloupech



Obr. 10.3 Průběhy posouvajících sil na sloupech



Obr. 10.4 Průběhy ohybových momentů na sloupech

N_{Ed} [kN]	-199,358
V_{Ed} [kN]	23,207
M_{Ed} [kNm]	-97,622

Obr. 10.5 Rekapitulace sil na sloupu

Zatřídění průřezu

Tlak

$$\frac{c}{t_w} = \frac{298,0}{11,0} = 27,090 \leq 38 * \varepsilon = 38 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 38 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Ohyb

$$\frac{c}{t_w} = \frac{298,0}{11,0} = 27,090 \leq 72 * \varepsilon = 72 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

10.2.1 Namáhání smykem - EN 1993-1-1

Plocha stojiny

$$A_v = 298 * 11 = 3278 \text{ mm}^2$$

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = 23,207 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{3278 * 235}{1 * \sqrt{3}} = 444,750 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{23,207}{444,750} = 0,052 \leq 1,0$$

Vyhoví

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{23,207}{444,750} = 0,052 \leq 0,5$$

Malý smyk → bez redukce únosnosti v ohybu

10.2.2 Namáhání ohybem - EN 1993-1-1

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 97,644 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,560 * 235}{1,0} = 601,600 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{97,644}{601,600} = 0,162 \leq 1,0$$

Vyhoví

10.2.3 Únosnost ve vzpěrném tlaku - EN 1993-1-1

Vzpěrné délky

$$L_z = 6150 \text{ mm}$$

$$L_y = 12300 \text{ mm}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Vybočení k ose y

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{12300}{168,419} = 73,032$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{73,032}{93,9} = 0,778 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru nelze zanedbat}$$

$$\alpha_y = 0,21 \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti a}$$

$$\phi_y = \frac{1}{2} * [1 + \alpha_y * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = \frac{1}{2} * [1 + 0,21 * (0,778 - 0,2) + 0,778^2] = 0,863$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,863 + \sqrt{0,863^2 - 0,778^2}} = 0,809 \leq 1,0$$

Vybočení k ose z

Kritická štíhlost

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{6150}{73,373} = 83,818$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{83,818}{93,9} = 0,893 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru nelze zanedbat}$$

$\alpha_z = 0,34 \rightarrow$ křivka vzpěrnosti *b*

$$\phi_z = \frac{1}{2} * [1 + \alpha_z * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = \frac{1}{2} * [1 + 0,34 * (0,893 - 0,2) + 0,893^2] = 1,016$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,016 + \sqrt{1,016^2 - 0,893^2}} = 0,666 \leq 1,0$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,809; 0,666) = 0,666$$

Návrhová únosnost

$$N_{b.Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,666 * \frac{15900 * 235}{1,0} = 2488,509 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.Rd}} = \frac{199,358}{2488,509} = 0,80 \leq 1,0$$

Vyhoví

10.2.4 Únosnost na kombinaci ohybu a osového namáhání - EN 1993-1-1

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,Rd} = 601,600 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 97,622 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost při osovém namáhání

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15900 * 235}{1.0} = 3736,500 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota osově síly

$$N_{Ed} = 199,358 \text{ kN}$$

Redukovaná momentová únosnost

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} * \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] = 601,600 * \left[1 - \left(\frac{199,358}{3736,500} \right)^2 \right] = 601,599 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{97,622}{601,599} = 0,162 \leq 1,0$$

Vyhoví

10.2.5 Ztráta stability vlivem klopení - EN 1993-1-1

Aby sloup vyhověl na klopení, musí být splněny podmínky:

A)

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad (10.1a)$$

B)

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad (10.1a)$$

kde $N_{Ed} [kN]$ je charakteristická hodnota normálové síly

$N_{Rk} [kN]$ charakteristická hodnota únosnosti prvku v tlaku

$\chi_i [-]$ součinitel vzpěrnosti

$k_{i,j} [-]$ součinitelé interakce

$M_{Rk} [kNm]$ charakteristická hodnota únosnosti prvku v ohybu

$\Delta M_{Rk} [kNm]$ přidavek ohybového momentu v důsledku posunu těžišťové osy

Tlak

A)

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{199,358}{\frac{0,809 * 3736,500}{1,0}} = 0,066$$

B)

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{199,358}{\frac{0,666 * 3736,500}{1,0}} = 0,080$$

Ohyb

Dle přílohy B, normy EN1993-1-1 jsou interakční součinitelé $k_{i,j}$ daní vztahy z tabulky. Hodnoty poměrné štíhlosti a součinitele vzpěru jsou hodnoty pro rovinný vzpěr.

Interakční součinitelé	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravouhlé duté průřezy	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Tab. 10.2 Interakční součinitelé $k_{i,j}$

A. Součinitel interakce pro průřezy třídy 1 je dán rovnicí:

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

Součinitelé momentu C_{my}, C_{mz}, C_{mLT} lze vypočítat podle:

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow 1,0$$

Interakční součinitel

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 1(1 + (0,778 - 0,2)0,066) = 1,038 \leq 1,053$$

B. Součinitel interakce je dán rovnicí:

Interakční součinitel	Předpoklady navrhování	
	Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>pro $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$

Tab. 10.3 Interakční součinitelé $k_{i,j}$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{83,818}{93,9} = 0,893 \leq 0,2$$

Pro $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ platí:

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \quad (10.2)$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{0,1 * 0,893}{1,0 - 0,25} * 0,080 = 0,991 \geq 0,989$$

Součinitel klopení

$k_z = 1,0$ na koncích úseku pro klopení je možné natočení

$k_w = 0,7$ bráněno deplanaci

$z_j = 0$ nesymetrie průřezu

Parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{0,7 * 6150} * \sqrt{\frac{210 * 10^3 * 2,94 * 10^{12}}{81 * 10^3 * 1,89 * 10^6}} = 1,466$$

Tvar momentového obrazce Poměr koncových momentů ψ	$k_z^{2)}$	Hodnoty součinitelů					
		$C_1^{1)}$		C_3			
		$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi = -1$ 	$-0,9 \leq \psi \leq 0$ 	$0 \leq \psi \leq 0,9$ 	$\psi = 1$
$M_{cr} \quad \psi = +1$ 	1,0	1,00	1,00	1,00			
	0,7L	1,02	1,10	1,02		1,00	
	0,7R	1,02	1,10	1,02		1,00	
	0,5	1,00	1,13	1,02			

Tab. 10.4 Hodnoty součinitelů C_1 a C_3

$$k_z = 1,0 \rightarrow C_{1,0} = 1,0; C_{1,1} = 1,0$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt}$$

Pro hodnoty parametru kroucení $k_{wt} > 1,0$ platí:

$$C_1 = C_{1,1} = 1,0$$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 1,0$$

Parametr nesymetrie průřezu

$$\varsigma_j = \frac{\pi * z_j}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = 0$$

Kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 * \varsigma_g - C_3 * \varsigma_j)^2} - (C_2 * \varsigma_g - C_3 * \varsigma_j) \right] = \frac{1,0}{1,0} \left[\sqrt{1 + 1,466^2} \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,775$$

Kritický moment je dán vztahem:

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = 1,775 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 8,56 * 81 * 1,89 * 10^6}}{6150}$$

$$= 1504,157 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,56 * 10^6 * 235}{1504,157 * 10^{-6}}} = 0,399$$

$$\frac{h}{b} = \frac{390}{300} = 1,3 \leq 2,0 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21 \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti a}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,399 - 0,2) + 0,399^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,559$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT} - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,559 + \sqrt{0,559^2 - 0,399^2}} = 1,05 \leq 1,0 \rightarrow 1,0$$

A)

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$0,066 + 1,038 \frac{97,622}{\frac{1,0 * 601,600}{1,0}} + 0 = 0,234 \leq 1,0$$

Vyhoví

B)

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

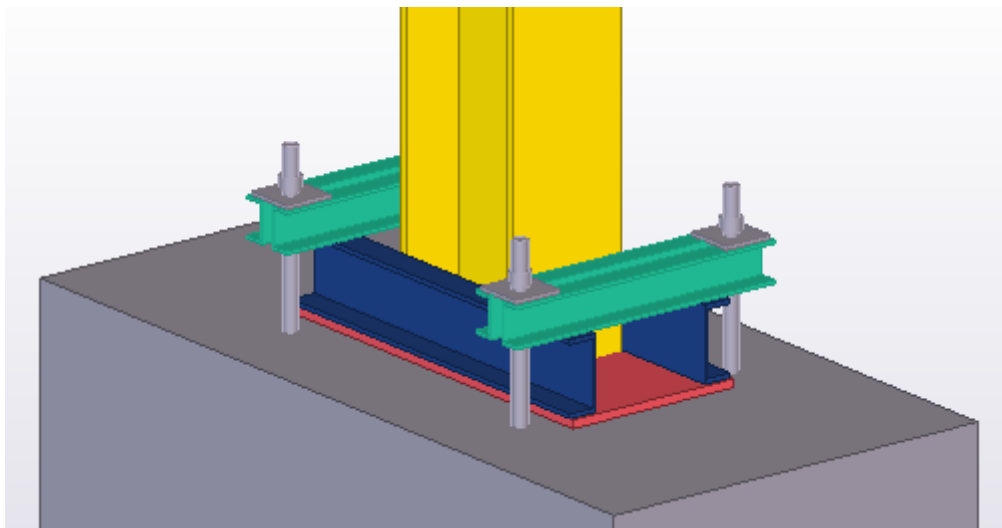
$$0,080 + 0,991 \frac{97,622}{\frac{1,0 * 601,600}{1,0}} + 0 = 0,241 \leq 1,0$$

Vyhoví

11 Patka

Průřez patky se posuzuje na kombinaci ohybu a smyku, na maximální hodnoty sil ze zatěžovacích stavů. V tomto případě rozhoduje ZS1 (CO88).

Pro průřez patky byl navrhnut patní plech o rozměrech **20x440** mm a dvěma válcovanými profily **UPN 180**



Obr. 11.1 Vizualizace patky

Vetknutá patka byla posouzena na dvě kombinace zatížení,

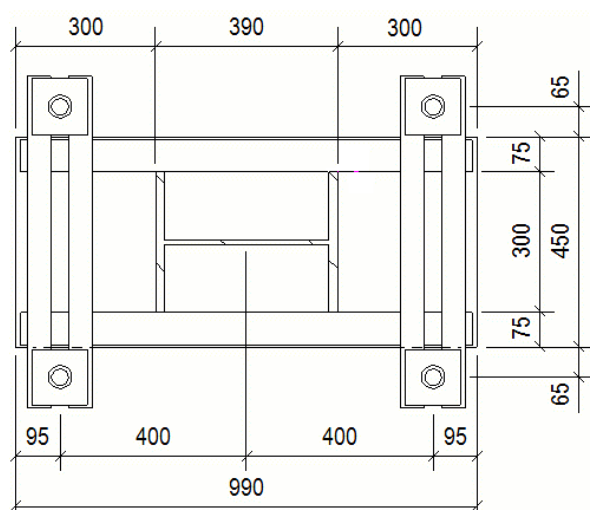
1. Kombinace – největší ohybový moment s příslušnou posouvající silou
2. Kombinace – největší poměr ohybového momentu a normálové síly

Podpora	Stav	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
Sn1/N18	CO88/4	-23,207	136,961	-97,622
Sn2/N19	CO86/7	22,362	90,110	45,612
Sn2/N19	CO14/2	1,153	4,756	0,627
Sn1/N18	CO30/1	-11,030	199,385	2,166
Sn2/N19	CO92/10	22,362	27,686	92,430

Obr. 11.2 Síly v patce

	CO88	CO92
N_{sd} [kN]	136,961	27,686
V_{sd} [kN]	23,207	22,362
M_{sd} [kNm]	97,622	92,430

Tab. 11.1 Rekapitulace sil působících na patku



Obr. 11.3 Půdorys patky

Délka patního plechu [mm]	Šířka patního plechu [mm]	Tloušťka patního plechu [mm]	Vzdálenost kotevních šroubů od osy sloupu [mm]
$a = 990$	$b = 450$	$t_p = 20$	$r_1 = 400$

Tab. 11.2 Vstupní hodnoty

Výška podlití se stanovuje v rozmezí 10-20% z menšího rozměru patního plechu. Podlití bylo navrženo tloušťky 50 mm.

$$0,1 * \min(990; 450) = 45 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

$$0,2 * \min(990; 450) = 90 \text{ mm} > 50 \text{ mm}$$

Délka betonové patky [mm]	Šířka betonové patky [mm]	Tloušťka betonové patky [mm]	Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku [MPa]
$A_{patka} = 2000$	$B_{patka} = 1000$	$h_{patka} = 800$	$f_{ck} = 16$

Tab. 11.3 Vstupní hodnoty

Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(A_{patka}; 5 * a; a + h_{patka}; 5 * b) = \min(2000; 5 * 990; 990 + 800; 5 * 450) = 1790 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B_{patka}; 5 * b; b + h_{patka}; 5 * a) = \min(1000; 5 * 450; 450 + 800; 5 * 1000) = 1000 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

Vliv vyšší únosnosti v tlaku

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a * b}} = \sqrt{\frac{1790 * 1000}{990 * 450}} = 2,005 \geq 1,0$$

Součinitel vlivu podlití

$$\beta_j = \frac{2}{3} \rightarrow f_{md} \geq 0,2 * f_{cd}$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} * 2,005 * 16}{1,5} = 14,254 \text{ MPa}$$

Funkční přesah desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd} * \gamma_{M0}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 14,254 * 1,0}} = 46,254 \text{ mm}$$

Efektivní šířka patního plechu

$$b_{eff} = 2 * b_{UPN180} + 2 * c = 2 * 70 + 2 * 46,254 = 233,769 \text{ mm}$$

11.1 Výpočet sil do šroubu

Excentricita normálové síly.

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Určení délky tlačené oblasti pod plechem se provádí pomocí momentové podmínky rovnováhy k působišti šroubů.

$$b_{eff} * f_{jd} * x^2 - b_{eff} * f_{jd} * (2 * r_1 + a) * x + 2 * N_{sd} * (e + r_1) = 0 \quad (10.3)$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (10.4)$$

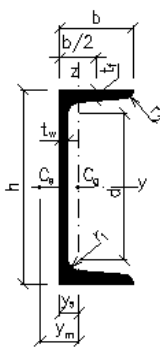
$$N_c = b_{eff} * f_{jd} * x \quad (10.5)$$

$$T = N_c - N_{sd} \quad (10.6)$$

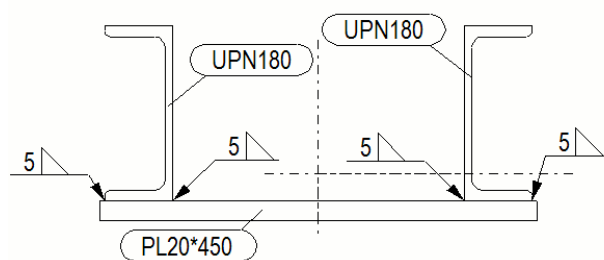
	ZS1	ZS2
N_{Ed} [kN]	136,961	27,686
M_{Ed} [kNm]	97,622	92,430
e [m]	0,713	3,339
x_1 [mm]	1737,348	1754,593
x_2 [mm]	52,652	35,407
N_c [kN]	175,447	117,981
T [kN]	38,486	90,295

Tab. 11.4 Hodnoty pro zatěžování stavy

11.2 Posouzení průřezu patky

UPN 180			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 180$ mm		Osa y	Osa z
$b = 70$ mm		$I_y = 1.35E+7$ mm ⁴	$I_z = 1.13E+6$ mm ⁴
$t_f = 11$ mm		$W_y = 1.50E+5$ mm ³	$W_{z1} = 2.24E+4$ mm ³
$t_w = 8$ mm			$W_{z2} = 5.88E+4$ mm ³
$r_1 = 11$ mm		$W_{y,pl} = 1.79E+5$ mm ³	$W_{z,pl} = 4.25E+4$ mm ³
$r_2 = 5.5$ mm		$i_y = 69.6$ mm	$i_z = 20.1$ mm
$y_s = 19.3$ mm		$S_y = 8.96E+4$ mm ³	
$y_m = 38$ mm		Kroucení a klopení	
$d = 133.4$ mm	$G = 22$ kg.m ⁻¹	$I_w = 5.59E+9$ mm ⁶	$I_t = 9.95E+4$ mm ⁴
$A_L = 0.6$ m ² .m ⁻¹	$A = 2800$ mm ²	$i_w = 17.3$ mm	$i_{pc} = 72.4$ mm

Tab. 11.5 Průřezové charakteristiky UPN180



Obr. 11.4 Posuzovaný průřez patky

Profil	A [mm ²]	z_i [mm]	$I_{y,i}$ [mm ⁴]	$A \cdot z_i$ [mm ³]	$A \cdot (z_i - z_t)^2$ [mm ⁴]
Patní plech	9000	10	$3,000 \cdot 10^5$	$9,000 \cdot 10^4$	$1,324 \cdot 10^7$
UPN180	2800	110	$1,350 \cdot 10^7$	$3,080 \cdot 10^5$	$1,064 \cdot 10^7$
UPN180	2800	110	$1,350 \cdot 10^7$	$3,080 \cdot 10^5$	$1,064 \cdot 10^7$
Σ	14600		$2,730 \cdot 10^7$	$7,060 \cdot 10^5$	$3,452 \cdot 10^7$

Obr. 11.5 Průřezové charakteristiky patky

Vzdálenost těžiště

$$z_t = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A} = \frac{7,060 \cdot 10^5}{1460} = 48,356 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti svařeného průřezu

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A \cdot (z_1 - z_T)^2) = (2,730 \cdot 10^7 + 3,452 \cdot 10^7) = 6,182 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul k horním vláknům

$$W_{y,el,h} = \frac{I_y}{t_p + h_{UPN180} - z_t} = \frac{6,182 \cdot 10^7}{20 + 180 - 48,356} = 4,077 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Průřezový modul k dolním vláknům

$$W_{y,el,d} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{6,182 \cdot 10^7}{48,356} = 1,278 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Vnitřní síly

Tlačená část patky

$$M_P = N_c \cdot \left(c - \frac{x}{2} \right) = 175,447 \cdot \left(300 - \frac{52,652}{2} \right) = 48,044 \text{ kNm}$$

$$V_P = N_c = 175,447 \text{ kN}$$

Tažená část patky

$$M_L = T \cdot (c - 95) = 38,486 \cdot (300 - 95) = 7,889 \text{ kNm}$$

$$V_L = T = 38,486 \text{ kN}$$

Maximální napětí v horních vláknech

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_P}{W_{y,el,h}} = \frac{48,044}{4,077 * 10^5} = 117,780 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{h,max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{117,780}{235} = 0,502 \leq 1,0$$

Vyhoví

$$\tau_{max} = \frac{V_P}{A_v} = \frac{175,447}{1,510} = 116,190 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{235}{\sqrt{3} * 1,0} = 135,677 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{max}}{\frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}} = \frac{116,190}{135,677} = 0,857 \leq 1,0$$

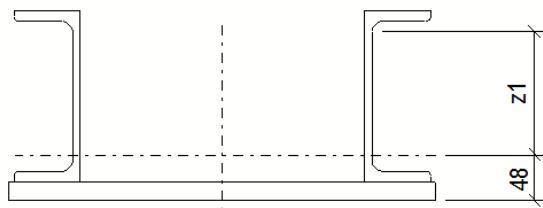
Vyhoví

$$\tau_{max} = \frac{2 * V_P}{A_v} = \frac{2 * 175,447}{1,510} = 232,380 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 135,677 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{max}}{\frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}} = \frac{232,380}{135,677} = 1,713 \leq 1,0$$

Velký smyk



Obr. 11.6 Určení vzdálenosti z_1

$$z_1 = h + t_p - z_t = 180 + 20 - 48,356 = 151,644 \text{ mm}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_p}{I_y} * z_2 = \frac{48,044}{6,182 * 10^7} * 151,644 = 117,780 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 * \tau_{max}^2} = \sqrt{117,780^2 + 3 * 135,677^2} = 233,179 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_2^2 + 3 * \tau_{max}^2}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{233,179}{235} = 0,992 \leq 1,0$$

Vyhoví

11.3 Připojení podélných výztuh

Podélné výztuhy jsou k patnímu plechu přivařeny pomocí koutových svarů, ty se posoudí v líci sloupu a na konci patky.

Délka svaru

$$l = 970 \text{ mm}$$

Výška svarů

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Plocha svarů

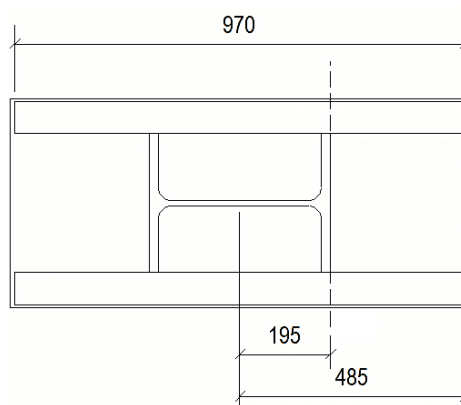
$$A_{we} = 4 * a * l = 4 * 5 * 970 = 19400 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti svarů

$$I_{we} = 4 * \frac{1}{12} * a * l^3 = 4 * \frac{1}{12} * 5 * 970^3 = 1,521 * 10^9 \text{ mm}^4$$

Statický moment

$$S_{f,y} = b * t_p * \left(z_d - \frac{t_p}{2} \right) = 450 * 20 * \left(48,889 - \frac{20}{2} \right) = 3,452 * 10^5 \text{ mm}^3$$



Obr. 11.7 Umístění řezů 1 a 2

Řez 1

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p * S_{fy}}{I_y * 4 * a_w} = \frac{23,207}{19400} + \frac{175,591 * 342,223 * 10^3}{6,182 * 10^7 * 4 * 5} = 50,181 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} * x_i = \frac{136,961}{19400} + \frac{97,622}{1,521 * 10^9} * 195 = 19,575 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{19,575}{\sqrt{2}} = 13,841 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2))} = \sqrt{(19,575^2 + 3 * (13,841^2 + 50,181^2))} = 91,218 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2))}}{\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M0}}} = \frac{91,218}{360} = 0,253 \leq 1,0$$

Vyhoví

Řez 2

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{23,207}{19400} = 1,196 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} * x_i = \frac{136,961}{19400} + \frac{97,622}{1,521 * 10^9} * 485 = 38,186 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{31,129}{\sqrt{2}} = 27,002 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2))} = \sqrt{(38,186^2 + 3 * (27,002^2 + 1,196^2))} = 54,043 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2))}}{\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M0}}} = \frac{54,043}{360} = 0,150 \leq 1,0$$

Vyhoví

11.4 Kotevní šrouby

$$T_1 = \frac{T_{max}}{2} = \frac{90,295}{2} = 45,148 \text{ kN}$$

$$N_{t, sd, max} = \frac{T_1 * 0,130 + T_1 * 0,450}{0,580} = \frac{45,148 * 0,130 + 45,148 * 0,450}{0,580} = 45,148 \text{ kN}$$

$$N_{t, sd, min} = 2 * T_1 - N_{t, sd, max} = 2 * 45,148 - 45,148 = 45,148 \text{ kN}$$

M36x3		
Průměr dřívku šroubu [mm]	Tolerance v osazení šroubu [mm]	Plocha jádra šroubu [mm ²]
$d = 36$	$\Delta = 30$	$A_s = 865$

Tab. 11.6 Kotevní šrouby M36x3

$$F_{t, Rd} = \frac{0,8 * A_s * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 * 865 * 235}{1,0} = 162,620 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t, sd, max}}{F_{t, Rd}} = \frac{45,179}{162,620} = 0,278 \leq 1,0$$

Vyhoví

Návrhová pevnost betonu v otláčení

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = \frac{32}{1,5} = 21,3 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonu v tahu a soudržnosti

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = \frac{1,13}{1,5} = 0,75 \text{ MPa}$$

Účinná hlava šroubu s kotevní hlavou

$$A_{kot. hl.} = 0,8 * A_s * \frac{0,8 * f_y}{\gamma_{M0} * f_{od}} + \frac{\pi * d^2}{4} = 0,8 * 865 * \frac{0,8 * 235}{1,0 * 21,3} + \frac{\pi * 36^2}{4} = 7125,667 \text{ mm}^2$$

Účinná hloubka šroubu

$$\Delta h = \left(\frac{4 * A_{kot. hl.}}{\pi * d^2} - 1 \right) * \frac{f_{od} * d}{4 * f_{td}} = \left(\frac{4 * 7125,667}{\pi * 36^2} - 1 \right) * \frac{21,3 * 36}{4 * 0,75} = 1533,735 \text{ mm}$$

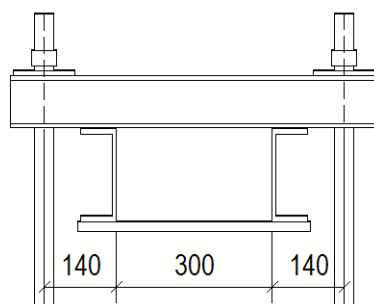
Minimální hloubka zabetonování

$$h_{min} = \frac{0,2 * N_{t, sd, max}}{\pi * d * f_{td}} = \frac{0,2 * 45,148}{\pi * 36 * 0,75} = 0,107 \text{ mm}$$

$$h_{min} = 106,452 \text{ mm} \leq \Delta h = 1533,735 \text{ mm}$$

Vyhoví

11.5 Kotevní příčník



Obr. 11.8 Umístění kotevního příčníku

Vnitřní síly

$$M_{ad} = N_{t,sd,min} * l_1 = 45,148 * 0,140 = 6,321 \text{ kNm}$$

$$V_{ad} = N_{t,sd,min} = 45,148 \text{ kN}$$

$$M_{bd} = N_{t,sd,max} * l_2 = 45,148 * 0,140 = 6,321 \text{ kNm}$$

$$V_{bd} = N_{t,sd,max} = 45,148 \text{ kN}$$

UPN 100			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 100 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 50 \text{ mm}$		$I_y = 2.05 * 10^6 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.91 * 10^5 \text{ mm}^4$
$t_f = 8.5 \text{ mm}$		$W_y = 4.11 * 10^4 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 8450 \text{ mm}^3$
$t_w = 6 \text{ mm}$			$W_{z2} = 1.88 * 10^4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 8.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 4.90 * 10^4 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 1.62 * 10^4 \text{ mm}^3$
$r_2 = 4.5 \text{ mm}$		$i_y = 39.1 \text{ mm}$	$i_z = 14.7 \text{ mm}$
$y_s = 15.5 \text{ mm}$		$S_y = 2.45 * 10^4 \text{ mm}^3$	$A_v = 646 \text{ mm}^2$
$y_m = 29.7 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$d = 64.3 \text{ mm}$	$G = 10.6 \text{ kg.m}^{-1}$	$I_w = 4.17 * 10^8 \text{ mm}^6$	$I_t = 2.91 * 10^4 \text{ mm}^4$
$A_L = 0.37 \text{ m}^2.\text{m}^{-1}$	$A = 1350 \text{ mm}^2$	$i_w = 10.9 \text{ mm}$	$i_{pc} = 41.7 \text{ mm}$

Tab. 11.7 Průřezové charakteristiky UPN100

$$W_{y,pl} = 2 * UPN100 = 2 * 4,9 * 10^4 = 9,8 * 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 2 * UPN100 = 2 * 646 = 1292 \text{ mm}^2$$

Smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1292 * 235}{1 * \sqrt{3}} = 175,295 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ad}}{V_{pl,Rd}} = \frac{45,148}{175,295} = 0,258$$

Vyhoví

$$\frac{V_{ad}}{V_{pl,Rd}} = \frac{45,148}{175,295} = 0,258 \leq 0,5$$

Malý smyk → bez redukce únosnosti v ohybu

Přenos vodorovní posouvající síly do betonové patky

Rozhoduje kombinace s největší vodorovnou silou při co nejmenší svislé reakci a momentu v patce.

$$V_{Ed} = 22,362 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 27,686 \text{ kN}$$

$$N_c = 118,045 \text{ kN}$$

$\mu = 0,2 \rightarrow$ součinitel tření mezi betonem a ocelí

$$\mu * N_c = 0,2 * 117,981 = 23,596 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\mu * N_c} = \frac{22,362}{23,596} = 0,948 \leq 1,0$$

Vyhoví

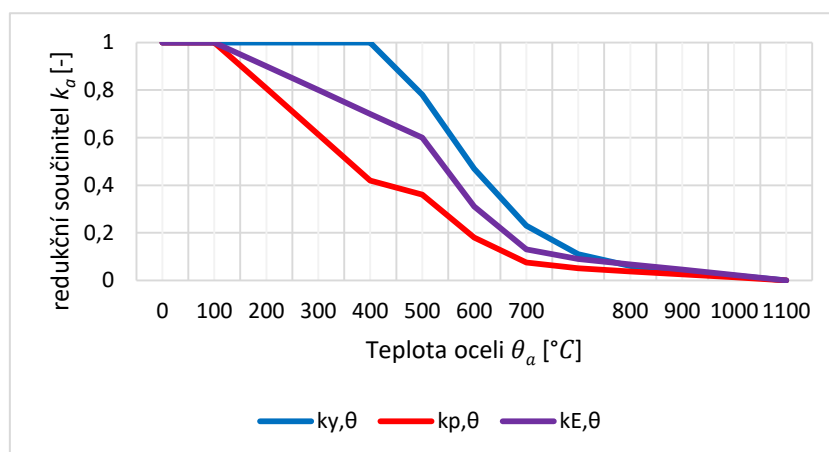
12 Požární odolnost

12.1 Vlastnosti oceli při vysokých teplotách

Ocel patří k běžně užívaným materiálům ve stavebnictví, její problematikou je především nízká požární odolnost. Při vysokých teplotách dochází k rychlému ohřevu konstrukce, ten způsobuje výraznou změnu mechanických a tepelných vlastností, které jsou ovlivněny především složením oceli (obsah uhlíku) a způsobem zpracování. Obecně platí, že s rostoucí teplotou rostou plastické vlastnosti a klesá pevnost a tažnost. Pro zohlednění se vlastnosti redukuje pomocí redukčních součinitelů.

Požární odolnost závisí na úrovni zatížení a tvarovém faktoru, zvyšovat ji lze pomocí materiálů s výrazně lepšími vlastnostmi omezujícími přestup tepla.

Redukční součinitelé



Obr. 12.1 Graf závislosti redukčních součinitelů na teplotě oceli

Teplota oceli θ_a [°C]	Redukční součinitele při teplotě θ_a vztažené k hodnotě f_y nebo E_a při 20°C		
	Pro účinnou mez kluzu $k_{y,\theta}[-]$	Pro mez úměrnosti $k_{p,\theta}[-]$	Pro sklon lineární pružné části $k_{E,\theta}[-]$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,067
1000°C	0,040	0,0250	0,045
1100°C	0,020	0,0125	0,023
1200°C	0,000	0,000	0,000

Obr. 12.2 Hodnoty redukčních součinitelů

12.1.1 Mechanické vlastnosti oceli

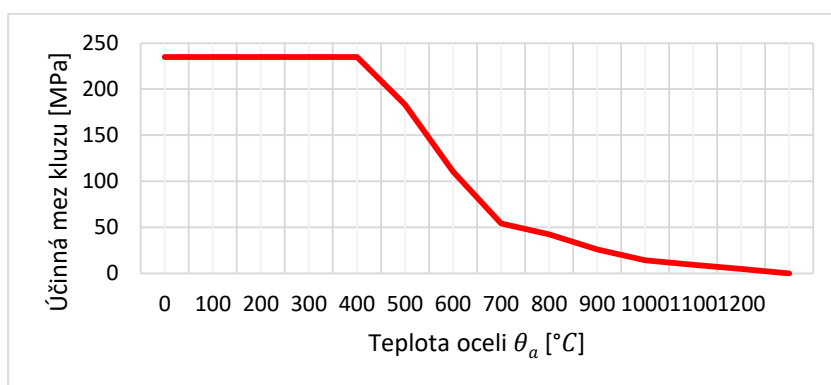
Účinná mez kluzu

$$f_{y,\theta} = f_y * k_{y,\theta}$$

kde $f_{y,\theta}$ [MPa] je účinná mez kluzu při teplotě oceli θ_a

f_y [MPa] mez kluzu při teplotě 20 °C

k_y [–] redukční součinitel meze kluzu při teplotě oceli θ_a



Obr. 12.3 Účinná mez kluzu

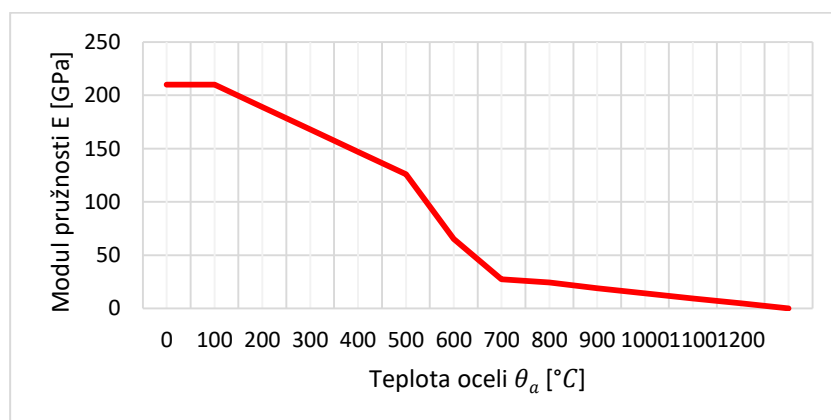
Modul pružnosti

$$E_{a,\theta} = E_a * k_E \quad (12.1)$$

kde $E_{a,\theta}$ [GPa] je modul pružnosti při teplotě oceli θ_a

E_a [GPa] modul pružnosti při teplotě 20 °C

k_E [–] redukční součinitel modulu pružnosti při teplotě oceli θ_a



Obr. 12.4 Modul pružnosti

Mez úměrnosti

$$f_{p,\theta} = f_y * k_{p,\theta} \quad (12.2)$$

kde $f_{p,\theta} [MPa]$ je mez úměrnosti při teplotě oceli θ_a

$f_p [MPa]$ mez úměrnosti při teplotě 20 °C

$k_p [-]$ redukční součinitel meze úměrnosti při teplotě oceli θ_a

Tepelná roztažnost

- pro $20\text{ °C} \leq \theta_a < 750\text{ °C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,2 * 10^{-5} * \theta_a + 0,4 * 10^{-8} * \theta_a^2 - 2,416 * 10^{-4} \quad (12.3)$$

- $750\text{ °C} \leq \theta_a < 860\text{ °C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,1 * 10^{-2} \quad (12.4)$$

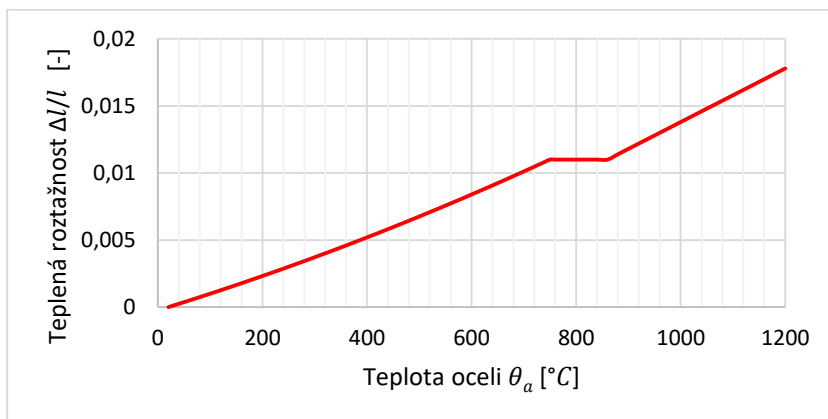
- $860\text{ °C} \leq \theta_a < 1200\text{ °C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 2 * 10^{-5} * \theta_a - 6,2 * 10^{-3} \quad (12.5)$$

kde $\Delta l [mm]$ je roztažení vyvolané teplotou

$l [mm]$ délka při teplotě 20°C

$\theta_a [°C]$ teplota oceli



Obr. 12.5 Tepelná roztažnost

12.1.2 Teplené vlastnosti

Měrné teplo

- pro $20\text{ °C} \leq \theta_a < 600\text{ °C}$

$$c_a = 425 + 7,73 * 10^{-1} * \theta_a - 1,69 * 10^{-3} * \theta_a^2 + 2,22 * 10^{-6} * \theta_a^3 \quad (12.6)$$

- $600\text{ °C} \leq \theta_a < 735\text{ °C}$

$$c_a = 666 + \frac{13002}{(738 - \theta_a)} \quad (12.7)$$

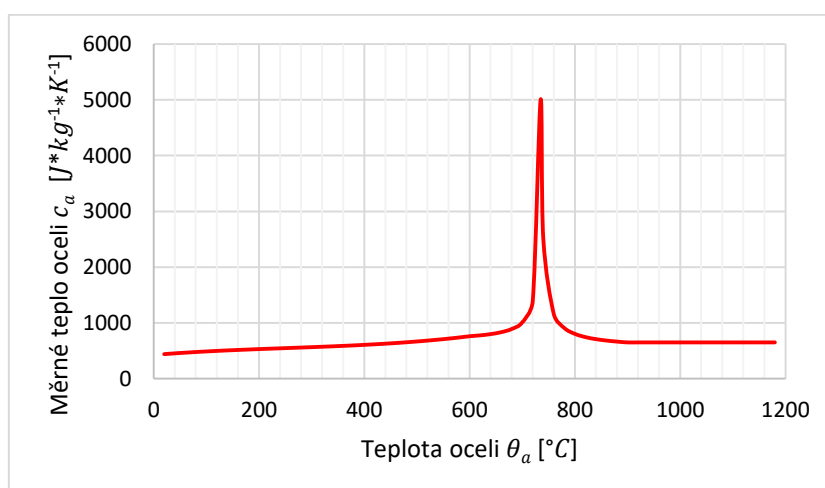
- $735\text{ °C} \leq \theta_a < 900\text{ °C}$

$$c_a = 545 + \frac{17820}{(\theta_a - 731)} \quad (12.8)$$

- $900\text{ °C} \leq \theta_a < 1200\text{ °C}$

$$c_a = 650 \quad (12.9)$$

kde $c_a \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$ je měrné teplo oceli



Obr. 12.6 Měrné teplo

Tepelná vodivost

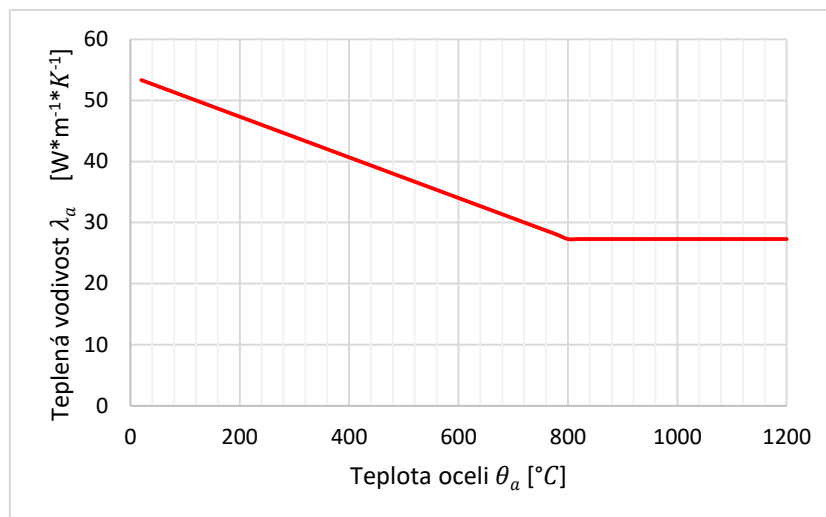
- pro $20\text{ °C} \leq \theta_a < 800\text{ °C}$

$$\lambda_a = 54 - 3,33 * 10^{-2} * \theta_a \quad (12.10)$$

- $800\text{ °C} \leq \theta_a < 1200\text{ °C}$

$$\lambda_a = 27,3$$

kde $\lambda_a \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ je tepelná vodivost



Obr. 12.7 Tepelná vodivost

12.2 Teplotní analýza

12.2.1 Teplotní křivky

Zjednodušené modely

- Nominální teplotní křivka – uhlovodíková teplotní křivka
 - křivka vnějšího požáru
 - normová teplotní křivka
- Parametrická teplotní křivka

Zdokonalené modely

- Lokální požár
- Dynamický model
- Jednozónový model
- Dvouzónový model

Nominální teplotní křivky

Tyto křivky jsou vyjádřeny pouze závislostí teploty plynu θ_g [°C] na době požáru t [min]

Uhlovodíková teplotní křivka

Teplota plynu je dána vztahem:

$$\theta_g = 1080(1 - 0,325 * e^{-0,167t} - 0,675 * e^{-2,5t}) + 20 \quad (12.11)$$

Křivka vnějšího požáru

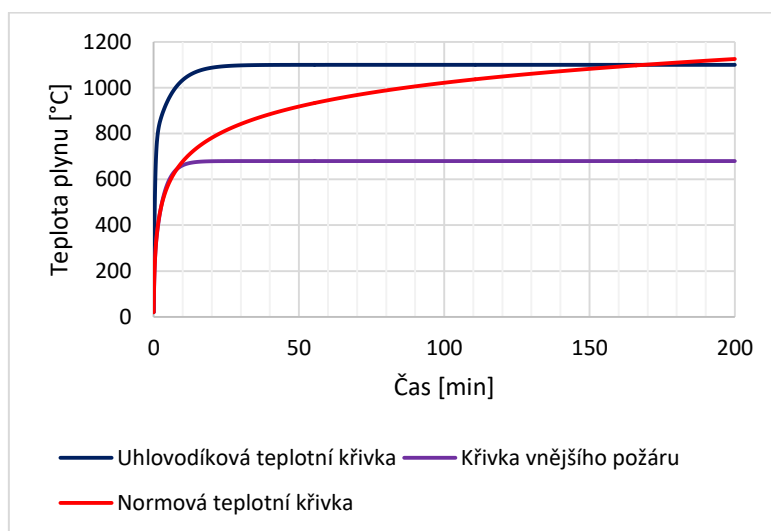
Teplota plynu lze stanovit rovnicí:

$$\theta_g = 660(1 - 0,687 * e^{-0,32t} - 0,313 * e^{-3,8t}) + 20 \quad (12.12)$$

Normová teplotní křivka (ISO 834)

Teplota plynu je dána vztahem:

$$\theta_g = 20 + 345 * \log(8t + 1) \quad (12.13)$$



Obr. 12.8 Průběhy teplotních křivek

Parametrická teplotní křivka

Teplota plynu lze stanovit rovnicí:

$$\theta_g = 1325 * (1 - 0,324 * e^{-0,2*t^*} - 0,204 * e^{-1,7*t^*} - 0,472 * e^{-19*t^*}) + 20 \quad (12.14)$$

kde $t^* [hod]$ je náhradní čas zohledňující vliv otvorů a kvalitu povrchu

Náhradní čas je dán vztahem:

$$t^* = t * \Gamma \quad (12.15)$$

kde $t [min]$ je čas požáru

Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchu $\Gamma[-]$ vyjadřuje tepelné ztráty, lze jej získat rovnicí:

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{O}{O_{ref}}\right)^2}{\left(\frac{b}{b_{ref}}\right)^2} \quad (12.16)$$

kde	$O [\sqrt{m}]$	je koeficient otvorů (vliv odvětrání) je dán rozsahem
	$O_{ref} [-]$	referenční koeficient otvorů nabývá hodnoty
	$b [\frac{J}{m^2 K \sqrt{s}}]$	tepelná pohltivost ohraničující konstrukce
	$b_{ref} [\sqrt{m}]$	referenční koeficient povrchů

Koeficient otvorů $O [\sqrt{m}]$ je dán rovnicí:

$$O = \frac{A_V}{A_t} * \sqrt{h_{eq}} \quad (12.17)$$

kde	$A_V [m^2]$	je celková plocha svislých otvorů v požárním úseku
	$A_t [m^2]$	celková plocha konstrukcí ohraničující požární úsek
	$h_{eq} [m]$	vážený průměr výšek oken

Tepelná pohltivost ohraničujících konstrukcí $b [\frac{J}{m^2 K \sqrt{s}}]$ lze stanovit rovnicí:

$$b = \sqrt{c * \rho * \lambda} \quad (12.18)$$

kde	$c [\frac{J}{kgK}]$	je měrné teplo
	$\rho [\frac{kg}{m^3}]$	objemová hmotnost
	$\lambda [\frac{W}{mK}]$	tepelná vodivost ohraničujících konstrukcí

Maximální teplota

Předpovídá se čas, při kterém teplota plynů dosáhne svého maxima při daném požárním zatížení a součiniteli otvorů. Požár je řízen ventilací nebo palivem. Čas potřebný k dosažení maximální teploty ventilací je dán vztahem:

$$t_{max, fuel} = 0,2 * 10^{-3} * \frac{q_{t,d}}{O} \quad (12.19)$$

kde	$q_{t,d} [MJ/m^2]$	je návrhové požární zatížení vztažené k ploše požárního úseku
-----	--------------------	---

požární zatížení se stanoví rovnicí:

$$q_{t,d} = \frac{A_f(q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n)}{A_t} \quad (12.20)$$

kde $q_{t,k} [MJ/m^2]$ je normové požární zatížení

$m[-]$ součinitel hoření

$\delta[-]$ součinitelé zahnující velikost požárního úseku, druh paliva, provozu a požární ochrany

Nejvyšší teplota je dána časem podle vzorce:

$$t_{max} = \max \left[t_{lim}; \left(2 * 10^{-3} * \frac{q_{t,d}}{\theta} \right) \right] \quad (12.21)$$

Náhradní čas plného rozvinutí požáru se stanoví vztahem:

$$t_{max}^* = t_{max} * \Gamma \quad (12.22)$$

Chladnutí

Po dosažení maximální hodnoty teploty nastává fáze chladnutí. Teplota postupně klesá v závislosti na akumulované tepelné energii, charakteristice požárního úseku a ventilaci. Dobou potřebnou pro dosažení maximální teploty se požáry dělí na krátké a dlouhé.

$$\begin{aligned} & \text{pro } t_{max}^* \leq 0,5 \\ & \theta_g = \theta_{max} - 625(t^* - t_{max}^* * x) \end{aligned} \quad (12.23)$$

$$\begin{aligned} & 0,5 < t_{max}^* < 2 \\ & \theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t_{max}^*)(t^* - t_{max}^* * x) \end{aligned} \quad (12.24)$$

$$\begin{aligned} & t_{max}^* \geq 2 \\ & \theta_g = \theta_{max} - 250(t^* - t_{max}^* * x) \end{aligned} \quad (12.25)$$

Parametrická křivka zavádí do výpočtu parametry, vystihující skutečný požár. Těmi jsou požární zatížení v požárním úseku, geometrie požárního úseku, typ konstrukcí tvořící hranice požárního úseku a velikost otvorů v obvodových konstrukcích. Omezujícími požadavky pro použití křivky jsou požární úseky bez otvorů ve střeše s podlahovou plochou do 500 m² podlahové plochy a výškou do 4 m.

12.3 Přestup tepla do konstrukce podle Eurokódů

12.3.1 Nechráněný průřez

Přírůstek teploty $\Delta\theta_{a,t} [^{\circ}C]$ lze získat vzorcem:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} * \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a * \rho_a} * \dot{h}_{net,d} * \Delta t \quad (12.26)$$

kde $k_{sh} [-]$ je opravný součinitel zastínění. Pro profily typu I jej lze uvažovat 0,9.

U trubek k zastínění nedochází, součinitel nabývá hodnoty 1,0

$\frac{A_m}{V} [m^{-1}]$ součinitel průřezu

$c_a [\frac{J}{kgK}]$ měrné teplo ocelového prvku

$\rho_a [\frac{kg}{m^3}]$ hustota ocelového prvku

$\dot{h}_{net,d} [\frac{W}{m^2}]$ čistý tepelný tok

$\Delta t [min]$ časový interval

Součinitel zastínění je dán vtahem:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \quad (12.27)$$

kde $\left(\frac{A_m}{V}\right)_b [m^{-1}]$ je součinitel průřezu pro povrch obdélníku opsaného průřezu
vystaveného požáru

Součinitel průřezu nechráněného prvku je stanoven tabulkou 4.2 normy EN – 1993-1-2.

Čistý tepelný tok $\dot{h}_{net,d} [\frac{W}{m^2}]$ je dán vztahem:

$$\dot{h}_{net,d} = \dot{h}_{net,r} + \dot{h}_{net,c} \quad (12.28)$$

kde $\dot{h}_{net,r} [W/m^2]$ je čistý sálavý tepelný tok

$\dot{h}_{net,c} [\frac{W}{m^2}]$ čistý konvenční tepelný tok

Čistý sálavý tepelný tok je dán vztahem:

$$\dot{h}_{net,r} = \phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma * [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad (12.29)$$

kde $\phi[-]$ je polohový faktor, obecně lze vzít hodnotu 1,0

$\varepsilon_m[-]$ povrchová emisivita prvku, pro uhlíkatou ocel nabývá hodnoty 0,7

$\varepsilon_f[-]$ emisivita požáru, obecně lze vzít hodnotu 1,0

$\sigma[\frac{W}{m^2 K^4}]$ Stephan – Boltzmannova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8}$

$\theta_r[^\circ C]$ teplota sálání prostředí požáru, lze vyjádřit teplotou plynů $\theta_g[^\circ C]$

$\theta_m[^\circ C]$ teplota povrchu prvku, lze vyjádřit teplotou prvku $\theta_a[^\circ C]$

Čistý konvenční tepelný tok lze získat vztahem:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c * (\theta_g - \theta_m) \quad (12.30)$$

kde $\alpha_c[\frac{W}{m^2}]$ je součinitel přestupu tepla prouděním, pro nominální teplotní křivku nabývá

hodnoty 0,25

12.3.2 Chráněný průřez

Přírůstek tepla $\Delta\theta_{a,t}[^\circ C]$ lze získat vztahem:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p * \frac{A_p}{V} * (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p * c_a * \rho_a * \left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} * \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1\right) * \Delta\theta_g \quad (12.31)$$

kde $\lambda_p[\frac{W}{mK}]$ je tepelná vodivost požárně ochranného materiálu

$d_p[m]$ tloušťka požárně ochranného materiálu

$\phi[-]$ polohový factor

$\theta_g[^\circ C]$ teplota plynu v požárním úseku

Polohový faktor $\phi[-]$ je dán vztahem:

$$\phi = \frac{c_p * \rho_p}{c_a * \rho_a} * d_p * \frac{A_p}{V} \quad (12.32)$$

kde $c_p[\frac{J}{kgK}]$ je měrné teplo požárně ochranného materiálu

$\rho_p[\frac{kg}{m^3}]$ hustota požárně ochranného materiálu

12.3.3 Zatížení požárem

Účinek zatížení se zjednodušeně získat ze vzorce:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} * E_d \quad (12.33)$$

kde $E_{d,fi} [kN]$ je účinek zatížení

$E_d [kN]$ návrhová hodnota příslušné vnitřní síly nebo momentu

$\eta_{fi} [-]$ redukční součinitel návrhového zatížení při požární situaci

Redukční součinitel zatížení při požární situaci je dán vztahem:

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} \quad (12.34)$$

kde $G_k [kN]$ je charakteristická hodnota součtu stálých zatížení

$Q_{k,1} [kN]$ charakteristická hodnota rozhodujícího proměnného zatížení

$\gamma_{GA} [-]$ dílčí součinitel stálého zatížení pro mimořádnou situaci lze uvažovat 1,0

$\psi_{1,1} [-]$ součinitel kombinace lze uvažovat 0,5

$\gamma_G [-]$ dílčí součinitel stálých zatížení lze uvažovat 1,35

$\gamma_{Q,i} [-]$ dílčí součinitel proměnného zatížení lze uvažovat 1,5

12.3.4 Klasifikace průřezu při požáru

Průřezy se klasifikují s úpravou koeficientu 0,85, který zohledňuje vlivy od rostoucí teploty

$$\varepsilon = 0,85 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (12.35)$$

12.3.5 Tah

Pro rovnoměrné rozdělení teploty prvku je návrhová únosnost dána vztahem:

$$N_{fi,\theta,Rd} = N_{Rd} * k_{y,\theta} * \left(\frac{\gamma_{m,0}}{\gamma_{m,fi}} \right) \quad (12.36)$$

kde $N_{fi,\theta,Rd} [kN]$ je návrhová únosnost taženého prvku při rovnoměrném rozdělení teploty

$N_{Rd} [kN]$ návrhová únosnost prvku za běžné teploty

$k_{y,\theta} [-]$ redukční součinitel meze kluzu při teplotě oceli θ_a

$\gamma_{m,0} [-]$ součinitel spolehlivosti materiálu

$\gamma_{m,fi} [-]$ součinitel spolehlivosti materiálu za požáru

Při nerovnoměrném rozdělení teploty prvku je návrhová únosnost dána výrazem:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i * k_{y,\theta,i} * \frac{f_y}{\gamma_{m,fi}} \quad (12.37)$$

kde $N_{fi,t,Rd} [kN]$ je návrhová únosnost taženého prvku při nerovnoměrném rozdělení teploty

$A_i [m^2]$ plocha dané části průřezu prvku při teplotě θ_{ai}

$k_{y,\theta,i} [-]$ redukční součinitel meze kluzu při teplotě oceli θ_{ai}

$f_y [MPa]$ mez kluzu oceli při teplotě 20°C

$\gamma_{m,fi} [-]$ součinitel spolehlivosti materiálu za požáru

12.3.6 Tlak

Návrhová vzpěrná únosnost v tlaku prvků třídy 1, 2 a 3 při rovnoměrném rozdělení teploty je dána vztahem:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{N_{Rd} * \chi_{fi} * k_{y,\theta}}{\gamma_{m,fi}} \quad (12.38)$$

kde $N_{b,fi,t,Rd}$ [kN] je návrhová únosnost taženého prvku při rovnoměrném rozdělení teploty

A [m²] plocha dané části průřezu prvku při teplotě θ_a

χ_{fi} [–] součinitel vzpěrného tlaku za požární situace

$k_{y,\theta}$ [–] redukční součinitel meze kluzu při teplotě oceli θ_a

f_y [MPa] mez kluzu oceli při teplotě 20°C

$\gamma_{m,fi}$ [–] součinitel spolehlivosti materiálu za požáru

Hodnota součinitele vzpěrné únosnosti se uvažuje jako menší z hodnot $\chi_{fi,y}$ a $\chi_{fi,z}$ stanovené výrazem:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \quad (12.39)$$

kde

$$\phi_\theta = \frac{1}{2} (1 + \alpha * \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2) \quad (12.40)$$

při

$$\alpha = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (12.41)$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} \quad (12.42)$$

Posuzování ocelových konstrukcí se provádí z hlediska:

- únosnosti – porovnání únosnosti prvku při požární situaci s účinkem zatížení při požáru
- teploty – kritická teplota se porovnává s teplotou prvku ve sledovaném čase při požáru
- času – čas, při kterém dosáhne teplota prvku kritické teploty, se porovná s požadovanou požární odolností (R15, 30,45, ...)

Pro posouzení z hlediska času, teploty je zapotřebí stanovit kritickou teplotu $\theta_{a,cr}[^{\circ}\text{C}]$

Kritická teplota pro uhlíkovou ocel při rovnoměrném rozdělení teploty je dána vztahem:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 * \ln \left[\frac{1}{0,9674 * \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (12.43)$$

kde $\mu_0[-]$ je stupeň využití při požáru

Stupeň využití při požáru

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t}} \geq 0,013 \quad (12.44)$$

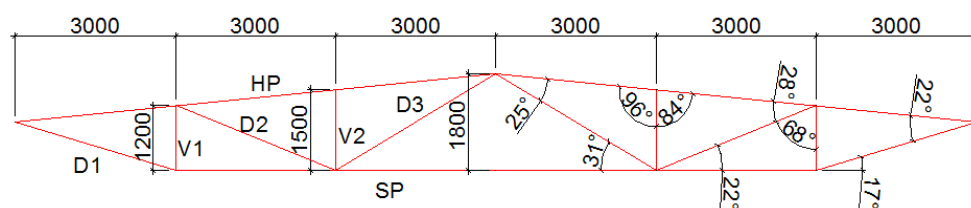
kde $E_{fi,d}$ je návrhový účinek zatížení při požáru

$R_{fi,d,t}$ návrhová nosnost prvku při požáru v čase 0

12.4 Posudek ocelového vazníku

Při analýze účinků zatížení na střešní vazník nebyly uvažovány zatěžovací stavy pro zatížení sněhem a zatěžovací stavy jeřábu obsahující horizontální síly (příčné a brzdné síly).

Geometrie vazníku

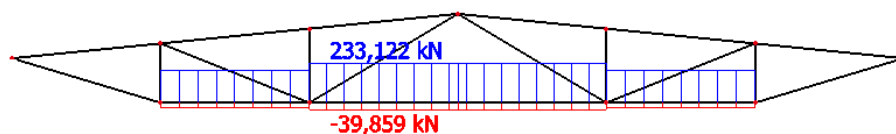


Obr. 12.9 Geometrie vazníku

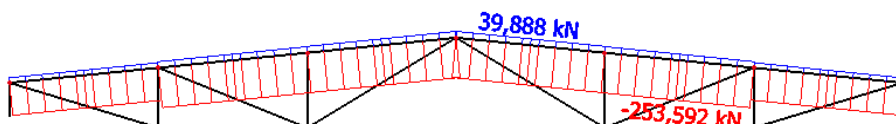
Pro příkladné posouzení byla vybrána svislice vazníku V1, ta byla posouzena z hlediska kritické teploty, času a únosnosti.

Další pruty vazníku byly posouzeny z hlediska únosnosti.

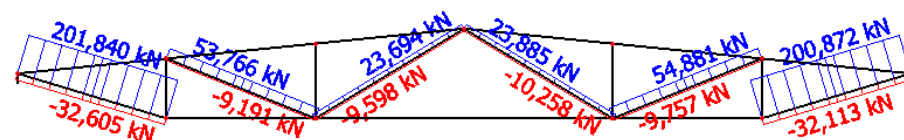
Vnitřní síly



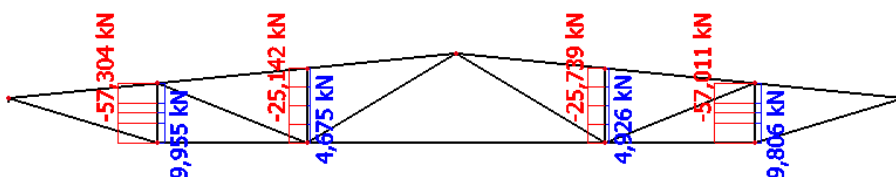
Obr. 12.10 Průběhy normálových sil - spodní pás



Obr. 12.11 Průběhy normálových sil - horní pás



Obr. 12.12 Průběhy normálových sil - diagonály

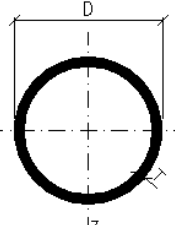


Obr. 12.13 Průběhy normálových sil – svislice

	Profil	Namáhání		Stálé zatížení $G_k[kN]$	Proměnné zatížení $Q_{k,1}[kN]$	Proměnné zatížení $Q_{k,2}[kN]$	Vzpěrná délka $L_{cr}[m]$
V1	TR 42,4x4	Tlak	57,304	12,158	26,917	0,382	0,90
		Tah	9,955	12,158	16,766	0,859	
V2	TR 42,4x4	Tlak	25,739	5,071	12,546	0,056	1,13
		Tah	4,926	5,071	7,685	0,125	
D1	TR 114x6,3	Tlak	32,605	43,942	58,418	3,034	2,35
		Tah	201,840	43,942	93,797	1,350	
D2	TR 42,4x4	Tlak	9,191	11,790	14,969	1,921	2,42
		Tah	53,766	11,790	24,465	0,854	
D3	TR 42,4x4	Tlak	10,258	3,205	5,346	3,875	2,62
		Tah	23,885	3,205	12,046	1,104	
SP	TR 114x6,3	Tlak	39,859	50,232	66,713	5,632	6,00
		Tah	233,122	50,232	107,952	2,504	
HP	HEA 180	Tlak	253,592	54,483	113,474	6,918	5,40
		Tah	39,888	54,483	72,764	3,076	

Tab. 12.1 Hodnoty pro výpočet požární odolnosti konstrukce

12.4.1 Svislice vazníku V1

CHS 42.4x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 8.99\text{E}+4 \text{ mm}^4$
$D = 42,4 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 4240 \text{ mm}^3$
$T = 4 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 5920 \text{ mm}^3$
$A = 483 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 13.6 \text{ mm}$
$A_L = 0.353 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.80\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$G = 3.79 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 8480 \text{ mm}^3$

Tab. 12.2 Průřezové charakteristiky profilu CHS42,4x4

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m}^{-1}$$

Teplota plynu požárního úseku v čase 15 minut

$$\theta_g = 20 + 345 * \log(8t + 1) = 20 + 345 * \log(8 * 15 + 1) = 738,56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Čistý sálavý tepelný tok

$$\dot{h}_{net,r} = \phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma * [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] =$$

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net,r} &= 1,0 * 0,7 * 1,0 * 5,67 * 10^{-8} * [(738,56 + 273)^4 - (699,240 + 273)^4] = \\ &= 6094,37 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Čistý konvenční tepelný tok

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c * (\theta_g - \theta_m) = 25 * (738,56 - 699,24) = 983 \text{ W/m}^2$$

Čistý tepelný tok

$$\dot{h}_{net,d} = \dot{h}_{net,r} + \dot{h}_{net,c} = 6094,37 + 983 = 7077,37 \text{ W/m}^2$$

Měrné teplo oceli pro teplotu prvku v mezích $600 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13002}{(738 - \theta_a)} = 666 + \frac{13002}{(738 - 699,24)} = 1001,45 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{C}}$$

Přírůstek tepla

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} * \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a * \rho_a} * \dot{h}_{net,d} * \Delta t = 1,0 * \frac{0,25}{1001,45 * 7850} * 7077,37 * 5 = 1,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde $k_{sh}[-]$ je opravný součinitel zastínění, nabývá hodnoty 1,0 (u trubek k zastínění nedochází)

Teplota prvku v čase 15 minut

$$\theta_{a,t} = \theta_{a,-1} + \Delta\theta_{a,t} = 699,24 + 1,13 = 700,37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

12.4.1.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 12,158 + 0,5 * 26,917 + 0,3 * 0,382}{1,35 * 12,158 + 1,5 * 26,917 + 1,35 * 0,382} = 0,449$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,449 * 57,304 = 25,725 \text{ kN}$$

Štíhlost prvku

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{900}{13,6} = 66,177$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{66,177}{93,9} = 0,7102$$

Poměrná štíhlost pro teplotu θ_a

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,709 \sqrt{\frac{0,229}{0,130}} = 0,941$$

kde $k_{y,\theta}[-]$ je redukční součinitel pro účinnou mez kluzu, nabývá hodnoty 0,229

$k_{E,\theta}[-]$ redukční součinitel pro sklon lineární pružné části, nabývá hodnoty 0,130

Součinitel vzpěrnosti za požáru

$$\alpha = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,65$$

$$\phi_{\theta} = \frac{1}{2}(1 + \alpha * \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2) = \frac{1}{2}(1 + 0,65 * 0,941 + 0,941^2) = 1,249$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{1,249 + \sqrt{1,249^2 - 0,941^2}} = 0,483$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = A * \chi_{fi} * k_{y,\theta} * \frac{f_y}{\gamma_{m,fi}} = 0,000482 * 0,483 * 0,229 * \frac{235}{1,0} = 12,583 \text{ kN}$$

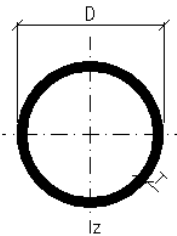
čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_{θ}	Φ_{θ}	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,705	0,977	0,604	68,458
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	0,705	0,977	0,604	68,458
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	0,936	1,243	0,486	12,750
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	0,937	1,244	0,485	12,615
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	0,751	1,026	0,580	6,167
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	0,750	1,025	0,580	6,153
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	0,750	1,025	0,580	6,140

Tab. 12.3 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1

$$N_{b,fi,t,Rd} = 12,615 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 25,725 \text{ kN}$$

Průřez nevyhoví na požární odolnost R15

Jelikož svislice vazníku nevyhověla na požární odolnost, byl navrhnut nový průřez CHS 76.1x4 pro všechny vnitřní pruty vazníku (V1,V2,D2,D3).

CHS 76.1x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 5.91\text{E}+5 \text{ mm}^4$
D = 76.1 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.55\text{E}+4 \text{ mm}^3$
T = 4 mm		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2.08\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 906 mm²		$i_y = i_z = 25.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.18\text{E}+6 \text{ mm}^4$
G = 7.11 kg·m⁻¹		$C_t = 3.10\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Tab. 12.4 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,376	0,693	0,784	167,019
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	0,376	0,693	0,784	167,019
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	0,499	0,787	0,717	35,377
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	0,500	0,787	0,717	35,019
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,415
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,378
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,341

Tab. 12.5 Výpočet únosnosti při požáru v tahu V1

$$N_{b,fi,t,Rd} = 35,019 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 25,725 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15

Kritická teplota

Stupeň využití při požáru

$$\mu_0 = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{Rd}} = \frac{25,725}{167,019} = 0,154$$

Kritická teplota

$$\begin{aligned} \theta_{a,cr} &= 39,19 * \ln \left[\frac{1}{0,9674 * \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 = \\ &= 39,19 * \ln \left[\frac{1}{0,9674 * 0,154^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 764,293 \text{ °C} \end{aligned}$$

Posouzení z hlediska teploty

V čase 15 minut je teplota prvku $\theta_{a,t} = 764,293 \text{ °C}$

$$\theta_{a,cr} = 764,293 \text{ °C} \geq \theta_{a,t} = 700,38 \text{ °C}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
22,3	797,8	6850,6	925,6	7776,2	1143,7	1,1	761,8	0,2	0,1	0,7	0,5	0,8	0,7	24,5
22,4	798,3	6768,7	912,4	7681,1	1122,7	1,1	762,9	0,2	0,1	0,7	0,5	0,8	0,7	24,4
22,5	798,9	6684,7	899,0	7583,7	1103,0	1,1	764,0	0,2	0,1	0,7	0,5	0,8	0,7	24,2

Tab. 12.6 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1

Kritická teplota nastane v čase 22,5 minut.

Posouzení podle grafu z hlediska času

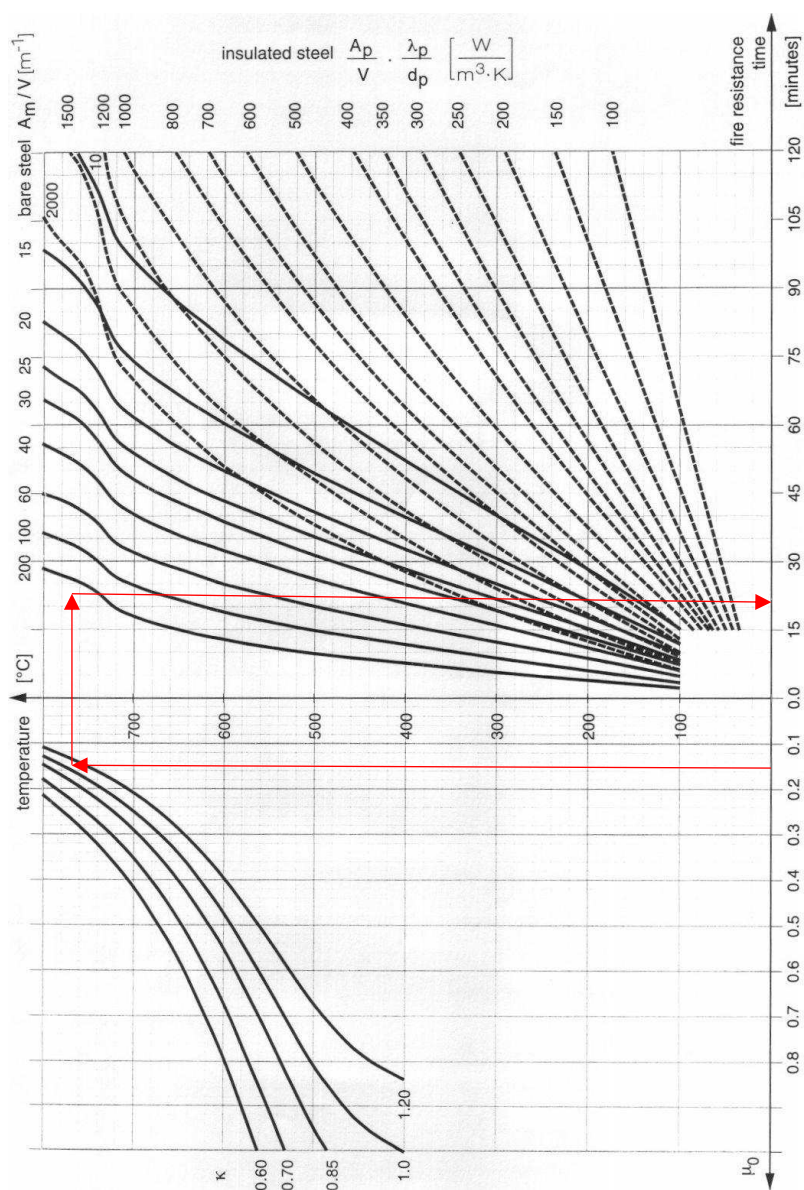
Stupeň využití při požáru

$$\mu_0 = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{Rd}} = \frac{25,725}{167,019} = 0,154$$

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m}^{-1}$$

Pro staticky určité nosníky požárem obklopené ze 4 stran je hodnota κ stanovena hodnotou 1,0



Hodnota odečtená z grafu je cca 20 minut, prvek vyhoví na požární odolnost 15 minut.

12.4.1.1 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 12,158 + 0,5 * 16,766 + 0,3 * 0,859}{1,35 * 12,158 + 1,5 * 16,766 + 1,35 * 0,859} = 0,487$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,487 * 9,955 = 4,848 \text{ kN}$$

$$N_{fi,\theta,Rd} = \frac{A * f_y * k_{y,\theta}}{\gamma_{m,fi}} = \frac{0,000906 * 235 * 0,229}{1,0} = 48,756 \text{ kN}$$

kde $k_{y,\theta}[-]$ je redukční součinitel pro účinnou mez kluzu, nabývá hodnoty 0,229

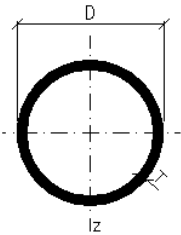
čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	212,910
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	212,910
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	212,910
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	49,940
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	49,356
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	48,873
95,25	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	19,993
95,33	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	19,941
95,41	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	19,889

Tab. 12.7 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro V1

$$N_{fi,\theta,Rd} = 48,756 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 4,848 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15

12.4.2 Svislice vazníku V2

CHS 76.1x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 5.91\text{E}+5 \text{ mm}^4$
D = 76.1 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.55\text{E}+4 \text{ mm}^3$
T = 4 mm		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2.08\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 906 mm ²		$i_y = i_z = 25.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.18\text{E}+6 \text{ mm}^4$
G = 7.11 kg·m ⁻¹		$C_t = 3.10\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Tab. 12.8 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m}^{-1}$$

12.4.2.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 5,071 + 0,2 * 12,546 + 0,3 * 0,056}{1,35 * 5,071 + 1,5 * 12,546 + 1,35 * 0,056} = 0,295$$

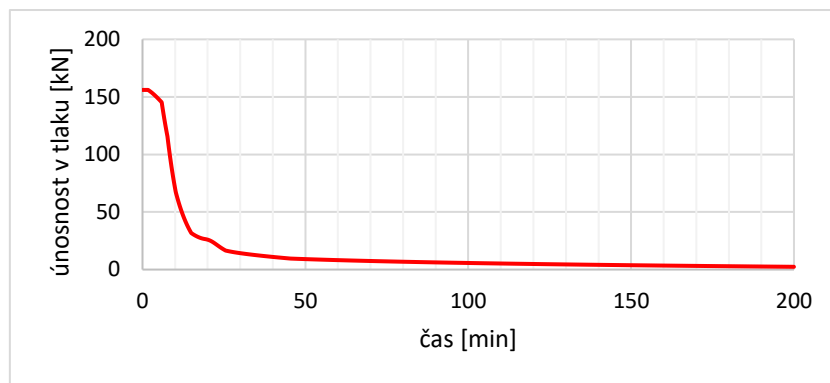
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,295 * 25,739 = 7,593 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{s,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_{θ}	Φ_{θ}	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,470	0,763	0,733	156,053
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	0,470	0,763	0,733	156,053
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	1,000	0,650	0,470	0,763	0,733	156,053
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	0,133	0,650	0,623	0,897	0,649	32,403
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	0,624	0,898	0,648	31,993
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	0,625	0,898	0,648	31,665
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	0,500	0,788	0,716	14,317
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	0,500	0,788	0,716	14,283
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	0,500	0,787	0,716	14,250

Tab. 12.9 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro V1

$$N_{b,fi,t,Rd} = 31,665 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 7,593 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.14 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak V2

12.4.2.2 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 5,074 + 0,5 * 7,685 + 0,3 * 0,125}{1,35 * 5,074 + 1,5 * 7,685 + 1,35 * 0,125} = 0,483$$

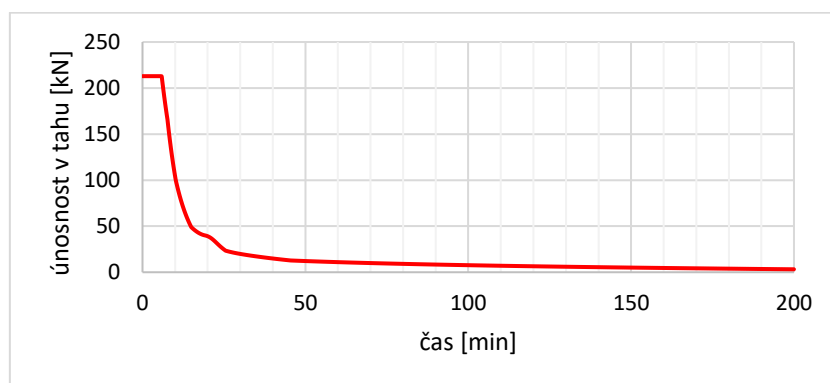
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,483 * 4,926 = 2,379 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	212,910
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	212,910
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	212,910
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	49,940
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	49,356
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	48,873
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	19,993
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	19,941
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	19,889

Tab. 12.10 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro V1

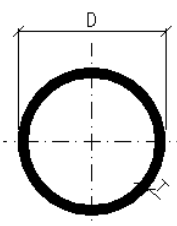
$$N_{fi,\theta,Rd} = 48,873 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 2,379 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.15 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah V2

12.4.3 Diagonála vazníku D1

CHS 114.3x6.3		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 3.13\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$D = 114.3 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 5.47\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 6.3 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 7.36\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 2140 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 38.2 \text{ mm}$
$A_L = 0.359 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 6.25\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 16.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 1.09\text{E}+5 \text{ mm}^3$

Tab. 12.11 Průřezové charakteristiky profilu CHS 114,3x6,3

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{6,3} = 0,159 \text{ m}^{-1}$$

12.4.3.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 43,942 + 0,5 * 58,418 + 0,3 * 3,034}{1,35 * 43,942 + 1,5 * 58,418 + 1,35 * 3,034} = 0,490$$

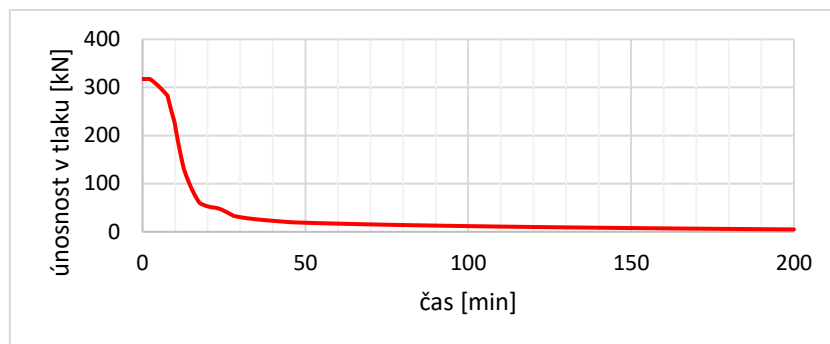
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,490 * 23,605 = 11,566 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,655	0,927	0,631	317,541
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,54	20,54	1,000	1,000	0,650	0,655	0,927	0,631	317,541
0,17	146,95	939,74	3160,15	4099,89	440,19	0,94	21,48	1,000	1,000	0,650	0,655	0,927	0,631	317,541
14,83	736,89	12386,05	2153,97	14540,03	815,00	1,80	652,54	0,344	0,215	0,650	0,827	1,111	0,540	93,337
14,92	737,73	12295,97	2129,69	14425,66	818,14	1,78	654,32	0,340	0,212	0,650	0,828	1,112	0,539	92,086
15,00	738,56	12207,79	2105,97	14313,76	821,38	1,77	656,10	0,335	0,209	0,650	0,829	1,114	0,539	90,840
29,83	840,96	5121,33	602,69	5724,02	752,57	0,77	817,62	0,101	0,086	0,650	0,710	0,983	0,601	30,607
29,92	841,37	5054,52	593,88	5648,39	750,73	0,76	818,38	0,101	0,086	0,650	0,710	0,982	0,602	30,509
30,00	841,79	4988,94	585,24	5574,17	748,94	0,75	819,13	0,100	0,086	0,650	0,709	0,982	0,602	30,412

Tab. 12.12 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D1

$$N_{b,fi,t,Rd} = 90,840 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 11,566 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.16 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D1

12.4.3.2 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 43,942 + 0,2 * 93,797 + 0,3 * 1,350}{1,35 * 43,942 + 1,5 * 93,797 + 1,35 * 1,350} = 0,313$$

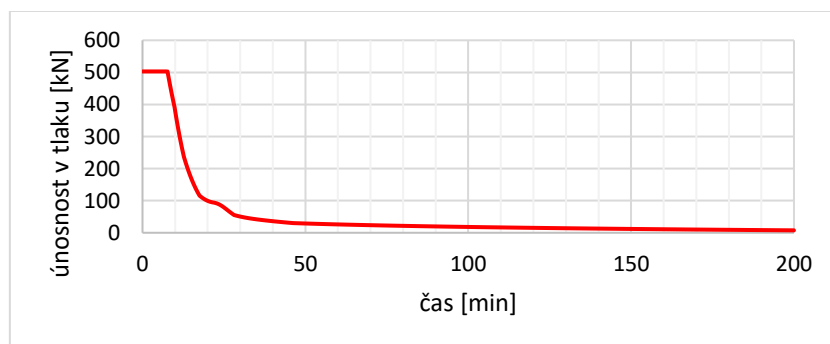
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,313 * 201,840 = 63,176 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	502,900
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,54	20,54	1,000	502,900
0,17	146,95	939,74	3160,15	4099,89	440,19	0,94	21,48	1,000	502,900
14,83	736,89	12386,05	2153,97	14540,03	815,00	1,80	652,54	0,344	172,950
14,92	737,73	12295,97	2129,69	14425,66	818,14	1,78	654,32	0,340	170,798
15,00	738,56	12207,79	2105,97	14313,76	821,38	1,77	656,10	0,335	168,657
29,83	840,96	5121,33	602,69	5724,02	752,57	0,77	817,62	0,101	50,888
29,92	841,37	5054,52	593,88	5648,39	750,73	0,76	818,38	0,101	50,697
30,00	841,79	4988,94	585,24	5574,17	748,94	0,75	819,13	0,100	50,508

Tab. 12.13 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D1

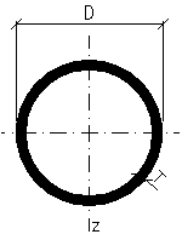
$$N_{fi,\theta,Rd} = 168,657 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 63,176 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.17 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah V2

12.4.4 Diagonála vazníku D2

CHS 76.1x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 5.91\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$D = 76.1 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.55\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 4 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2.08\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 906 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 25.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.18\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 7.11 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 3.10\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Tab. 12.14 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m}^{-1}$$

12.4.4.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 11,790 + 0,5 * 14,969 + 0,3 * 1,921}{1,35 * 11,790 + 1,5 * 14,969 + 1,35 * 1,921} = 0,485$$

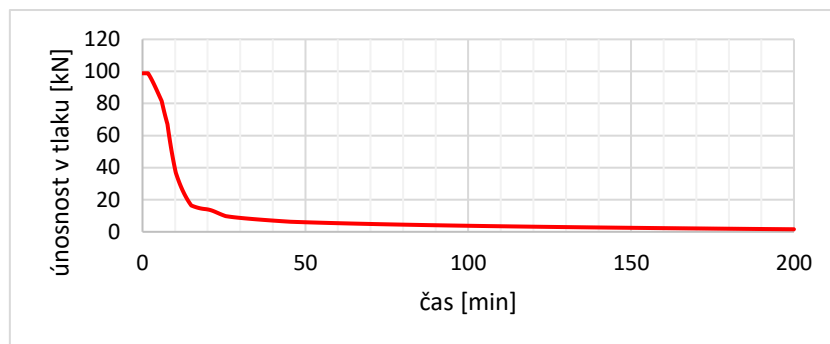
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,485 * 9,191 = 4,458 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{s,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,981	1,301	0,464	98,845
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	0,981	1,301	0,464	98,845
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	1,000	0,650	0,981	1,301	0,464	98,845
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	0,133	0,650	1,301	1,770	0,337	16,821
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	1,304	1,774	0,336	16,584
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	1,305	1,775	0,336	16,403
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	1,045	1,386	0,435	8,706
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	1,045	1,385	0,436	8,689
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	1,044	1,384	0,436	8,672

Tab. 12.15 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D2

$$N_{b,fi,t,Rd} = 16,403 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 4,458 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.18 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D2

12.4.4.2 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 11,790 + 0,2 * 24,465 + 0,3 * 0,854}{1,35 * 11,790 + 1,5 * 24,465 + 1,35 * 0,854} = 0,315$$

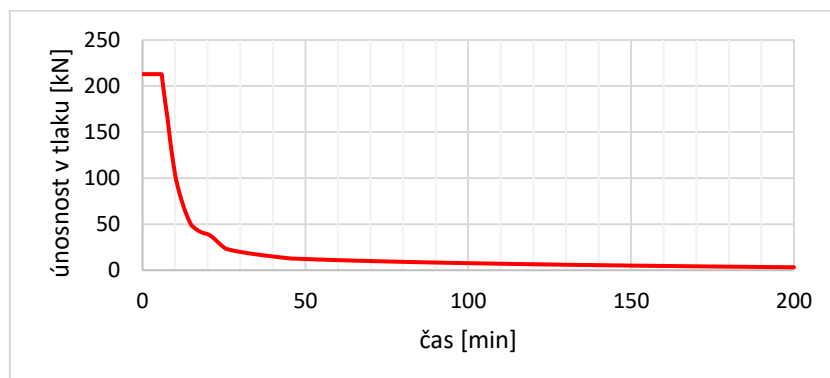
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,315 * 53,766 = 16,936 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	212,910
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	212,910
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	212,910
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	49,940
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	49,356
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	48,873
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	19,993
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	19,941
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	19,889

Tab. 12.16 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D2

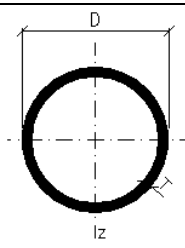
$$N_{fi,\theta,Rd} = 48,873 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 16,936 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.19 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah D2

12.4.5 Diagonála vazníku D3

CHS 76.1x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 5.91\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$D = 76.1 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.55\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 4 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2.08\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 906 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 25.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.18\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 7.11 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 3.10\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Tab. 12.17 Průřezové charakteristiky profilu CHS 76,1x4

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m}^{-1}$$

12.4.5.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 3,205 + 0,5 * 5,346 + 0,3 * 3,875}{1,35 * 3,205 + 1,5 * 5,346 + 0,3 * 3,875} = 0,521$$

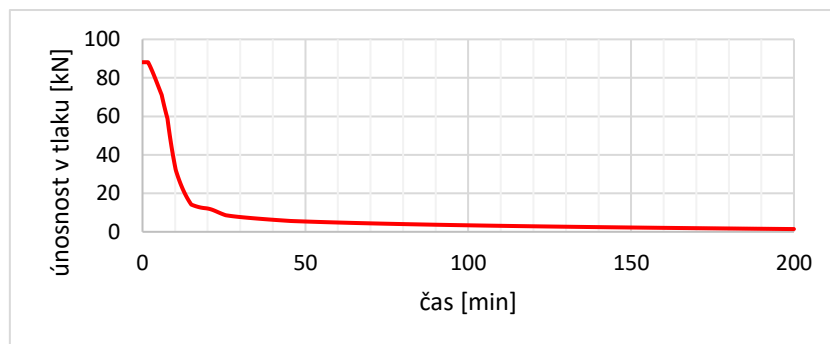
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,521 * 10,258 = 5,344 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{s,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	1,096	1,457	0,414	88,117
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	1,096	1,457	0,414	88,117
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	1,000	0,650	1,096	1,457	0,414	88,117
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	0,133	0,650	1,453	2,028	0,290	14,507
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	1,456	2,033	0,290	14,300
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	1,457	2,035	0,289	14,143
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	1,167	1,561	0,385	7,699
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	1,167	1,560	0,385	7,685
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	1,166	1,559	0,386	7,671

Tab. 12.18 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro D3

$$N_{b,fi,t,Rd} = 14,143 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 5,344 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.20 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak D3

12.4.5.2 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 3,205 + 0,2 * 12,046 + 0,3 * 1,104}{1,35 * 3,205 + 1,5 * 12,046 + 0,3 * 1,104} = 0,262$$

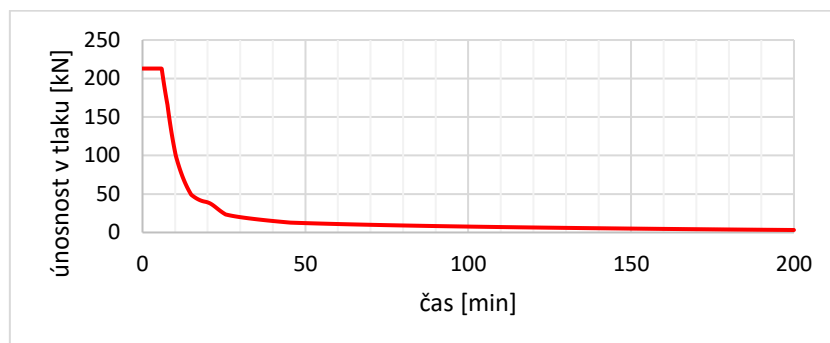
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,262 * 23,885 = 6,258 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	212,910
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	212,910
0,17	146,95	938,48	3152,35	4090,84	440,41	1,48	22,33	1,000	212,910
14,83	736,89	6155,67	998,85	7154,51	982,67	1,16	698,10	0,235	49,940
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	49,356
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	48,873
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	19,993
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	19,941
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	19,889

Tab. 12.19 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro D3

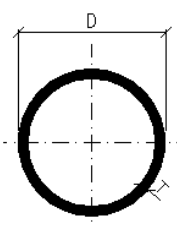
$$N_{fi,\theta,Rd} = 48,873 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 6,258 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.21 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah D3

12.4.6 Spodní pás vazníku SP

CHS 114.3x6.3		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 3.13\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$D = 114.3 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 5.47\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 6.3 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 7.36\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 2140 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 38.2 \text{ mm}$
$A_L = 0.359 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 6.25\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 16.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 1.09\text{E}+5 \text{ mm}^3$

Tab. 12.20 Průřezové charakteristiky profilu CHS114,3x6,3

Součinitel průřezu

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} = \frac{1}{6,3} = 0,159 \text{ m}^{-1}$$

12.4.6.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 50,232 + 0,5 * 66,713 + 0,3 * 5,632}{1,35 * 50,232 + 1,5 * 66,713 + 1,35 * 5,632} = 0,486$$

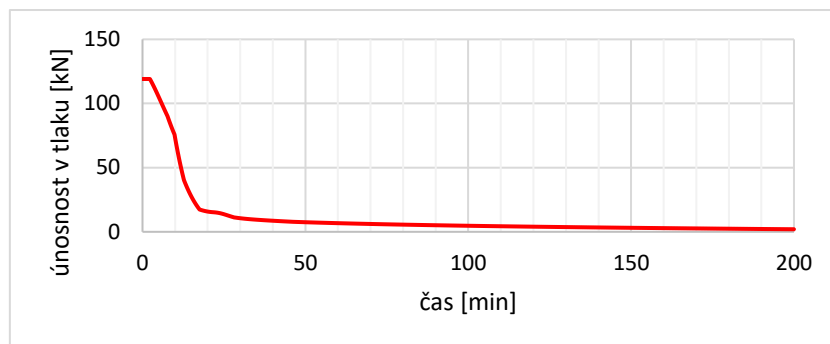
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,486 * 39,859 = 19,372 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	1,673	2,443	0,237	119,096
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,54	20,54	1,000	1,000	0,650	1,673	2,443	0,237	119,096
0,17	146,95	939,74	3160,15	4099,89	440,19	0,94	21,48	1,000	1,000	0,650	1,673	2,443	0,237	119,096
14,83	736,89	12386,05	2153,97	14540,03	815,00	1,80	652,54	0,344	0,215	0,650	2,113	3,420	0,164	28,310
14,92	737,73	12295,97	2129,69	14425,66	818,14	1,78	654,32	0,340	0,212	0,650	2,116	3,427	0,163	27,900
15,00	738,56	12207,79	2105,97	14313,76	821,38	1,77	656,10	0,335	0,209	0,650	2,119	3,433	0,163	27,493
29,83	840,96	5121,33	602,69	5724,02	752,57	0,77	817,62	0,101	0,086	0,650	1,814	2,735	0,209	10,642
29,92	841,37	5054,52	593,88	5648,39	750,73	0,76	818,38	0,101	0,086	0,650	1,812	2,732	0,209	10,617
30,00	841,79	4988,94	585,24	5574,17	748,94	0,75	819,13	0,100	0,086	0,650	1,811	2,728	0,210	10,592

Tab. 12.21 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro SP

$$N_{b,fi,t,Rd} = 27,493 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 19,372 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.22 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak SP

12.4.6.2 Tah

Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 50,232 + 0,2 * 107,52 + 0,3 * 2,504}{1,35 * 50,232 + 1,5 * 105,952 + 1,35 * 2,504} = 0,315$$

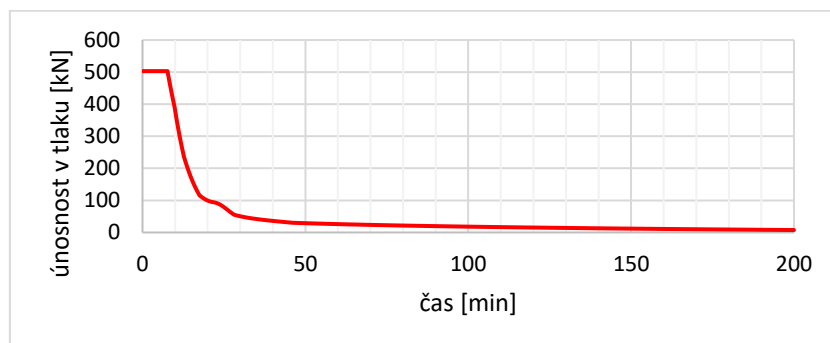
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,315 * 233,122 = 73,433 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{p,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	502,900
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,54	20,54	1,000	502,900
0,17	146,95	939,74	3160,15	4099,89	440,19	0,94	21,48	1,000	502,900
14,83	736,89	12386,05	2153,97	14540,03	815,00	1,80	652,54	0,344	172,950
14,92	737,73	12295,97	2129,69	14425,66	818,14	1,78	654,32	0,340	170,798
15,00	738,56	12207,79	2105,97	14313,76	821,38	1,77	656,10	0,335	168,657
29,83	840,96	5121,33	602,69	5724,02	752,57	0,77	817,62	0,101	50,888
29,92	841,37	5054,52	593,88	5648,39	750,73	0,76	818,38	0,101	50,697
30,00	841,79	4988,94	585,24	5574,17	748,94	0,75	819,13	0,100	50,508

Tab. 12.22 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro SP

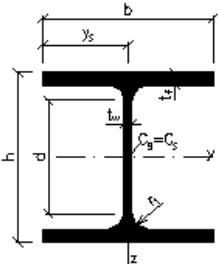
$$N_{fi,\theta,Rd} = 168,472 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 73,433 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.23 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah SP

12.4.7 Horní pás vazníku HP

HE180A			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 171 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 180 \text{ mm}$		$I_y = 2.51\text{E}+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 9.25\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 9.5 \text{ mm}$		$W_{yI} = 2.94\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{zI} = 1.03\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 6 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 3.25\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 1.56\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$r_l = 15 \text{ mm}$		$i_y = 74.5 \text{ mm}$	$i_z = 45.2 \text{ mm}$
$y_s = 90 \text{ mm}$		$S_y = 1.62\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 7.83\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 122 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 4525 \text{ mm}^2$		$I_w = 6.02\text{E}+10 \text{ mm}^6$	$I_t = 1.48\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.02 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 35.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 41.87 \text{ mm}$	$i_{pc} = 87.13 \text{ mm}$

Tab. 12.23 Průřezové charakteristiky profilu HE180A

Pro profil HEA exponovaný ze všech stran lze součinitel průřezu $\frac{A_m}{V} [\text{m}^{-1}]$ získat vztahem:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obvod průřezu}}{\text{průřetová plocha}} = \frac{1,02}{0,004525} = 225 \text{ m}^{-1}$$

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{2 * (0,180 + 0,171)}{0,004525} = 115 \text{ m}^{-1}$$

Součinitel zastínění je dán vtahem:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}}$$

Přírůstek teploty $\Delta\theta_{a,t} [^\circ\text{C}]$ lze získat vzorcem:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} * \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a * \rho_a} * \dot{h}_{net,d} * \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} k_{sh} * \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a * \rho_a} * \dot{h}_{net,d} * \Delta t$$

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 * \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a * \rho_a} * \dot{h}_{net,d} * \Delta t$$

12.4.7.1 Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 54,483 + 0,2 * 113,474 + 0,3 * 6,918}{1,35 * 54,483 + 1,5 * 113,474 + 1,35 * 6,918} = 0,313$$

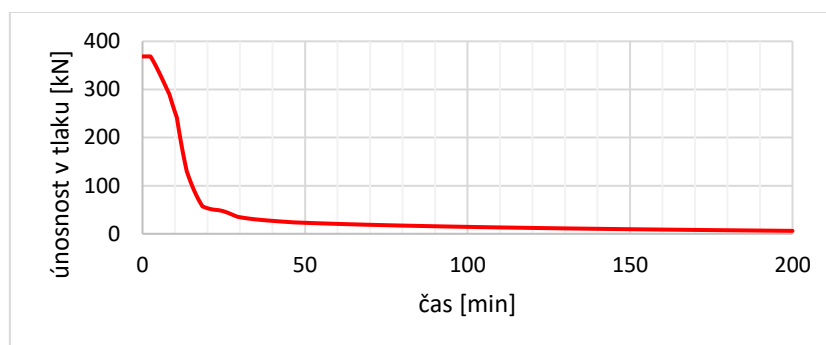
$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,313 * 253,592 = 79,374 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	α	λ_θ	Φ_θ	χ_{fi}	$N_{b,fi,t,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	1,272	1,723	0,347	368,643
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,48	20,48	1,000	1,000	0,650	1,272	1,723	0,347	368,643
0,17	146,95	940,00	3161,80	4101,80	440,14	0,83	21,30	1,000	1,000	0,650	1,272	1,723	0,347	368,643
14,83	736,89	14943,00	2682,68	17625,69	785,93	1,99	631,58	0,394	0,253	0,650	1,588	2,276	0,256	107,276
14,92	737,73	14845,90	2653,68	17499,58	788,18	1,97	633,55	0,389	0,250	0,650	1,589	2,279	0,256	105,829
15,00	738,56	14750,17	2625,20	17375,37	790,48	1,97	635,52	0,385	0,246	0,650	1,591	2,283	0,255	104,386
29,83	840,96	7139,65	851,61	7991,25	779,80	0,91	807,80	0,106	0,088	0,650	1,395	1,927	0,307	34,659
29,92	841,37	7048,76	839,25	7888,01	777,02	0,90	808,71	0,106	0,088	0,650	1,394	1,924	0,308	34,558
30,00	841,79	6958,98	827,07	7786,06	774,32	0,89	809,60	0,105	0,088	0,650	1,392	1,922	0,308	34,457

Tab. 12.24 Výpočet únosnosti při požáru v tlaku pro HP

$$N_{b,fi,t,Rd} = 104,386 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 79,374 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15



Obr. 12.24 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tlak HP

12.4.7.2 Tah

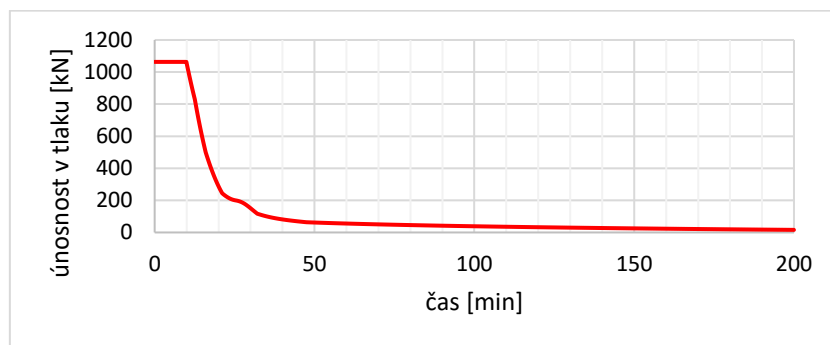
Návrhová hodnota normálové síly v tahu při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 54,483 + 0,5 * 72,764 + 0,3 * 3,076}{1,35 * 54,483 + 1,5 * 72,764 + 1,35 * 3,076} = 0,491$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,491 * 39,888 = 19,585 \text{ kN}$$

čas t	θ_g	$h_{net,r}$	$h_{net,c}$	$h_{net,d}$	c_a	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$	$k_{p,\theta}$	$N_{fi,\theta,Rd}$
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1063,375
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,35	20,35	1,000	1063,375
0,17	146,95	940,49	3164,87	4105,37	440,05	0,61	20,97	1,000	1063,375
14,83	736,89	21434,73	4223,73	25658,47	725,59	2,33	570,28	0,562	597,768
14,92	737,73	21350,01	4186,26	25536,27	727,94	2,31	572,59	0,555	590,145
15,00	738,56	21265,78	4149,30	25415,07	730,29	2,31	574,90	0,548	582,528
29,83	840,96	14107,14	1768,49	15875,64	999,37	1,05	771,27	0,144	153,637
29,92	841,37	14009,50	1752,72	15762,21	987,56	1,05	772,32	0,143	152,295
30,00	841,79	13910,23	1736,79	15647,02	976,29	1,06	773,37	0,142	150,946

Tab. 12.25 Tab. 12.24 Výpočet únosnosti při požáru v tahu pro SP



Obr. 12.25 Graf závislosti únosnosti na teplotě pro tah HP

$$N_{fi,\theta,Rd} = 582,528 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} = 19,585 \text{ kN}$$

Průřez vyhoví na požární odolnost R15

12.5 Požární odolnost v software Scia Engineer

Pro ověření byly pruty ocelového vazníku posouzeny pomocí Scia Engineer 16.0. Při zadávání požární odolnosti ocelových konstrukcí je zapotřebí zvolit požadovanou požární odolnost, ta byla zvolena 15 minut. Dále byla zvolena teplotní křivka ISO 834, působení ohně na nosník bylo uvažováno ze všech stran. Jako ukázkový příklad výpočtu byla zvolena vertikála vazníku V1, výsledné reporty dalších prutů jsou součástí příloh (Příloha J).

Výsledkem je jednotkový posudek vyhodnocující poměr účinků zatížení při požární situaci a redukovanou únosnost prvku ve zvoleném čase 15 minut, tento jednotkový posudek byl dále porovnán s hodnotami vyhodnocenými pomocí tabulkového kalkulátoru Excel (Tab. 12.28).

	Profil	Namáhání		Stálé zatížení $G_k[kN]$	Proměnné zatížení $Q_{k,1}[kN]$	Proměnné zatížení $Q_{k,2}[kN]$	Vzporná délka $L_{cr}[m]$
V1	TR 42,4x4	Tlak	57,304	12,158	26,917	0,382	0,90
		Tah	9,955	12,158	16,766	0,859	

Tab. 12.26 Hodnoty pro výpočet požární odolnosti konstrukce

Tlak

Návrhová hodnota normálové síly v tlaku při požáru

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1}}{\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1}} = \frac{1,0 * 12,158 + 0,5 * 26,917 + 0,3 * 0,382}{1,35 * 12,158 + 1,5 * 26,917 + 1,35 * 0,382} = 0,449$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} * N_d = 0,449 * 57,304 = 25,725 \text{ kN}$$

Požární odolnost

Posouzení v oblasti pevnosti podle EN 1993-1-2 článku 4.2.3

Požární odolnost		
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*
Křivka teplota - čas	Křivka ISO 834	
Součinitel přenosu tepla prouděním alpha,c	25,00	W/m^2K
Emisivita vztážená k požárnímu úseku epsilon,f	1,00	
Emisivita vztážená k povrchu materiálu epsilon,m	0,70	
Polohový faktor toku tepla sáláním phi	1,00	
Požadovaná požární odolnost R	15,00	min
Teplota plynu theta,g	738,56	°C
Teplota materiálu theta,a,t	702,19	°C
Expozice nosníku	Všechny strany	
Adaptační součinitel pro průřez kappa,1	1,00	
Adaptační součinitel pro nosník kappa,2	1,00	
Součinitel průřezu pro nechráněné ocelové dílce Am/V	2,6380e+02	1/m
Opravný součinitel pro efekt stínu k,sh	1,00	
Redukční součinitel pro mez kluzu k,y,theta	0,23	
Redukční součinitel pro modul E k,E,theta	0,13	

Obr. 12.26 Hodnoty pro požární odolnost 15 minut - Scia Engineer

Prut B1	CHS76.1/4.0	S 235	ZS2	0.74
---------	-------------	-------	-----	------

Posudek únosnosti

0.531 < 1.000

Dílec splňuje posudek průřezu

Posudek stability

0.741 < 1.000

Dílec splňuje posudek stability.

Obr. 12.27 Jednotkový posudek Scia Engineer

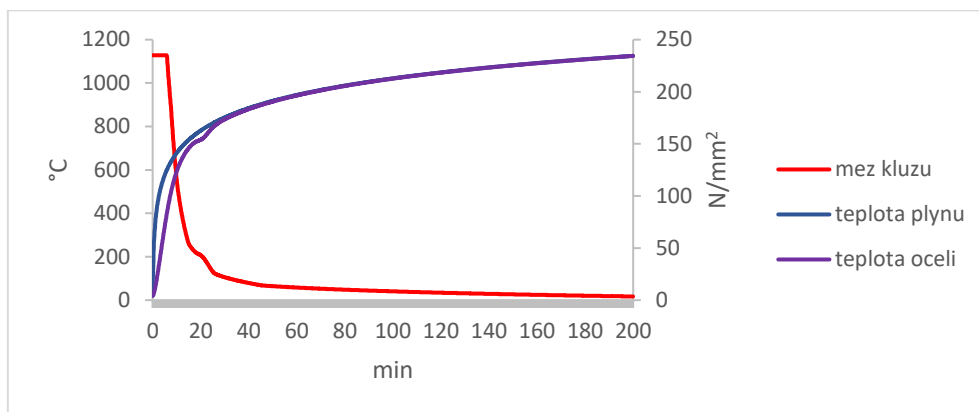
Hodnota využití průřezu stanovení pomocí Scia Engineer nabývá hodnoty **0,741**

čas t	theta_g	h_net,r	h_net,c	h_net,d	c_a	Delta theta_a,t	theta_a,t	k_y,theta	k_E,theta	alpha	lambda_theta	Phi_theta	chi_ft	N_bfi,t,Rd
[min]	[°C]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[J/kg/K]	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	440,00	0,00	20,00	1,000	1,000	0,650	0,376	0,693	0,784	167,019
0,08	96,54	447,61	1913,39	2360,99	440,00	0,85	20,85	1,000	1,000	0,650	0,376	0,693	0,784	167,019
14,92	737,73	6123,70	990,68	7114,37	991,87	1,14	699,24	0,232	0,131	0,650	0,499	0,787	0,717	35,377
15,00	738,56	6094,20	982,97	7077,16	1001,47	1,13	700,38	0,230	0,130	0,650	0,500	0,787	0,717	35,019
29,83	840,96	2006,94	231,50	2238,44	721,96	0,49	832,19	0,094	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,415
29,92	841,37	1992,60	229,56	2222,16	721,10	0,49	832,68	0,094	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,378
30,00	841,79	1978,60	227,67	2206,27	720,25	0,49	833,17	0,093	0,083	0,650	0,400	0,710	0,771	15,341

Tab. 12.27 Výpočet únosnosti při požáru v tahu V1

Využití průřezu

$$\frac{N_{fi,Ed}}{N_{b,fi,t,Rd}} = \frac{25,725}{35,019} = 0,735$$



Obr. 12.28 Graf meze kluzu, teploty oceli a plynu

Srovnání hodnot využití průřezů

Posouzení požární odolnosti ostatních prutů vazníku pomocí Scia Engineer se nachází v přílohách (Příloha J).

Prut	Profil	$L_{cr}[m]$	Namáhání	Excel	Scia Engineer
V1	TR 76,1x4	0,90	Tlak	0,735	0,741
			Tah	0,099	0,100
V2	TR 76,1x4	1,13	Tlak	0,239	0,242
			Tah	0,049	0,049
D1	TR 114,3x6,3	2,35	Tlak	0,127	0,133
			Tah	0,375	0,391
D2	TR 76,1x4	2,42	Tlak	0,272	0,284
			Tah	0,347	0,350
D3	TR 76,1x4	2,62	Tlak	0,377	0,379
			Tah	0,128	0,129
SP	TR 114,3x6,3	6,00	Tlak	0,705	0,740
			Tah	0,436	0,455
HP	HEA 180	5,40	Tlak	0,760	0,750
			Tah	0,034	0,047

Tab. 12.28 Srovnání jednotkových posudků

Rozdíly mezi hodnotami vypočtenými pomocí tabulkového kalkulátoru jsou minimální.

13 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posoudit vybranou ocelovou konstrukci na účinky požáru. Náplň práce tvoří statické posouzení prvků halové konstrukce za běžných teplot a posudek na požární odolnosti ocelového příhradového vazníku. Posudky konstrukce za běžných teploty byly provedeny ručně a posouzeny s účinky zatížení na příčnou vazbu vyhodnocenými pomocí software Scia Engineer. Požární odolnost R15 byla ověřena pomocí vlastních postupů v tabulkovém kalkulátoru Excel a výsledné hodnoty byly porovnány se software Scia Engineer. Součástí práce je i výkresová dokumentace vytvořená pomocí software Tekla Structures.

Literatura

- [1] ECCS No.89, Euro-Nomogram, Brussels: ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 1995
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení-Zatížení sněhem*, Praha: ČSNi, 2013.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení-Zatížení větrem*, Praha: ČSNi, 2013
- [4] ČSN EN 1993-1-2 *Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla-Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, Praha: ČSNi, 2006
- [5] ČSN EN 1993-1-5 *Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Obecná pravidla-Boulení stěn*, Praha: ČSNi, 2008
- [6] ČSN EN 1993-6 *Navrhování ocelových konstrukcí. Část 6: Jeřábové dráhy*, Praha: ČSNi, 2008
- [7] ČSN EN 1991-1-7 *Zatížení konstrukcí. Část 1-7: Obecná zatížení-Mimořádná zatížení*, Praha: ČSNi, 2007
- [8] ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Praha: ČSNi, 2011.
- [9] Lausová, Lenka. *Chování ocelových konstrukcí během požáru, Disertační práce*, VŠB-TUO, 2014
- [10] Wald, František. *Výpočet Požární Odolnosti Stavebních Konstrukcí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Další zdroje:

<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stresni-izolacni-panely/stresni-sendvicovy-panel-ks1000-x-dek>

<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely>

<http://homel.vsb.cz/~ros11/Ocelove%20a%20drevene%20kce/Ocelove%20a%20drevene%20kce.html>

<http://www.konstrukce.cz/clanek/k-navrhovani-ocelovych-konstrukci-jejabovych-drah-podle-eurokodu/>